

Aus der Professur für Phytomedizin

der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Unkräuter bei Maisdaueranbau - Analyse von Systemen mit Grasuntersaaten und daran angepassten Herbizideinsatz

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt von Diplom-Ingenieur (FH) Jens Wienberg

aus Leer (Ostfriesland)

Rostock, den 03.06.2021

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003296



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0
International Lizenz.

Gutachter:

Prof. Dr. Bärbel Gerowitt
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Satower Str. 48, 18059 Rostock

Prof. Dr. Isselstein, Johannes
Georg-August-Universität Göttingen
Abt. Graslandwissenschaft Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Von-Siebold-Straße 8, 37075 Göttingen

Prof. Dr. Streit, Bernhard
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL
Dozent für Herbologie an der ETH Zürich
Länggasse 85, CH - 3052 Zollikofen

Jahr der Einreichung: 2021

Jahr der Verteidigung: 2021

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	7
Summary	9
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis.....	12
 Kapitel 1 - Einleitung	 13
1.1 Einführung in das Thema	14
1.1.1 Pflanzenschutzmittel- und Metabolitenfunde im Grundwasser	14
1.1.2 Unkrautbekämpfung im Mais und Wasserschutz	15
1.1.3 Ziele dieser Arbeit.....	16
1.2 Gliederung der Dissertation.....	17
1.3 Literaturverzeichnis.....	19
 Kapitel 2 - Unkrautvegetation nach der Maisernte in Silomaissystemen mit Untersaaten	 21
2.1 Zusammenfassung	22
2.2 Einleitung	23
2.3 Material und Methoden	24
2.3.1 Versuchsstandorte	24
2.3.2 Versuchsaufbau.....	24
2.3.3 Datenerhebung Unkräuter und Untersaaten.....	25
2.3.4 Versuchsauswertung	26
2.4 Ergebnisse	26
2.5 Diskussion	30
2.6 Literaturverzeichnis.....	32

Kapitel 3 - Trockener Sommer, nasser Sommer – können Untersaaten Unkräuter im Maisanbau begrenzen?	33
3.1 Zusammenfassung	34
3.2 Abstract	35
3.3 Einleitung	36
3.4 Material und Methoden	38
3.4.1 Standorte	38
3.4.2 Wetterdaten	39
3.4.3 Maisanbau	40
3.4.4 Anlage der Versuchspartzen	40
3.4.5 Versuchsglieder	40
3.4.6 Daten zu Unkräutern und Untersaaten	42
3.4.7 Daten zum Maisbestand	42
3.4.8 Statistische Auswertung	43
3.5 Ergebnisse	44
3.5.1 Unkrautarten und Dichten	44
3.5.2 Entwicklung der Unkrautdeckungsgrade	46
3.5.3 Deckungsgrad Untersaaten	47
3.5.4 Maiserträge	48
3.6 Diskussion	50
3.6.1 Unkrautarten und Unkrautdeckungsgrad	50
3.6.2 Untersaaten und Herbizideinsatz	51
3.6.3 Erträge	53
3.7 Literaturverzeichnis	54

Kapitel 4 - Intercropping with <i>Lolium</i> spp. instead of applying soil-active herbicides confined weeds in three years of continuous maize cropping.....	57
4.1 Abstract	58
4.2 Introduction	59
4.3 Material and methods	62
4.3.1 Weather data	62
4.3.2 Experimental design.....	62
4.3.3 Experiment management	63
4.3.4 Assessments	64
4.3.5 Data analysis	64
4.4 Results	66
4.4.1 Weed species.....	66
4.4.2 Weed density.....	66
4.4.3 Weed cover	69
4.4.4 Intercrop cover	69
4.4.5 Yield data	71
4.5 Discussion	72
4.6 Conclusions	75
4.7 Acknowledgements	76
4.8 References	77
 Kapitel 5 - Zusammenfassung und Diskussion	 83
5.1 Eignung der Versuchsstandorte.....	84
5.2 Durchgeführte Herbizidmaßnahmen	84
5.3 Unkraut- und Untersaatendeckungsgrade	85
5.4 Einfluss der Untersaaten auf einzelne Unkrautarten	86
5.5 Einfluss der Witterung im Versuchszeitraum	87

5.6	Einfluss des mehrjährigen Anbaues auf die Unkrautvegetation.....	88
5.7	Einfluss der Anbausysteme auf die Erträge und Trockensubstanzgehalte	89
5.8	Bedeutung für den Trinkwasserschutz	90
5.9	Literaturverzeichnis	93
Eidesstattliche Erklärung		Fehler! Textmarke nicht definiert.
	Lebenslauf.....	97
Danksagung		Fehler! Textmarke nicht definiert.

Zusammenfassung

Seit dem Jahr 2006 werden in Deutschlands immer häufiger Abbauprodukte unterschiedlicher Bodenherbizide im Grundwasser nachgewiesen. In Regionen mit wiederholtem Maisanbau sind dies die Abbauprodukte des Wirkstoffes *S-Metolachlor*. Aufgrund seiner guten Bodenwirkung ist *S-Metolachlor* eine wichtige Komponente in zahlreichen Herbiziden.

In einem dreijährigen Versuch wurde überprüft, ob ein Verzicht auf *S-Metolachlor* im wiederholten Maisanbau durch eine Untersaat substituiert werden kann. Ertragsverluste sollten ebenso vermieden werden, wie die Selektion schwer zu bekämpfender Unkrautarten.

Es wurden zwei Maisanbausysteme mit Grasuntersaaten und Einsatz blattaktiver Herbizide gegen den bisherigen Standard ohne Untersaat aber mit der Anwendung von *S-Metolachlor* getestet. Im Anbausystem mit einer '*Lolium* spp. Untersaat' wurden blattaktive Herbizide gegen mono- und dikotyle Unkrautarten ausgebracht. Im Anbausystem der '*Festuca* spp. Untersaat' wurden nur blattaktive Herbizide gegen dikotyle Unkrautarten eingesetzt.

Für die Beurteilung der Anbausysteme wurden vier Fragen bearbeitet. 1) Welche Auswirkung haben die unterschiedlichen Herbizidmaßnahmen in den getesteten Anbausystemen auf die Unkrautvegetation? 2) Wird die Unkrautdichte in den Anbausystemen vergleichbar kontrolliert? 3) Ist ein wiederholter Maisanbau mit Grasuntersaaten möglich, ohne das es zur Ausbreitung einzelner Unkrautarten kommt? 4) Welchen Einfluss hat der Maisanbau mit Untersaat auf den Ertrag?

zu 1) Die Herbizidmaßnahmen im Anbausystem '*Lolium* spp. Untersaat' erzielten bei der Bekämpfung ein- und zweikeimblättriger Unkrautarten vergleichbare Wirkungsgrade wie die Herbizidmaßnahme mit dem Bodenherbizid *S-Metolachlor* im Anbausystem 'ohne Untersaat'. Im Anbausystem '*Festuca* spp. Untersaat' wurde eine unzureichende Wirkung der Herbizide gegen die monokotyle Art *Poa annua* festgestellt.

zu 2) In allen drei Versuchsjahren waren die Unkrautdichten der getesteten Anbausysteme nur nach der Maisernte in den Wintermonaten unterscheidbar. In diesem Zeitraum war die Unkrautdichte im Anbausystem '*Lolium* spp. Untersaat' am niedrigsten. In den Anbausystemen 'ohne Untersaat' und mit '*Festuca* spp. Untersaat' stieg die Unkrautdichte in den Wintermonaten an. Im zweiten und dritten Versuchsjahr war die Gesamtdichte in beiden Anbausystemen signifikant höher als im Anbausystem mit '*Lolium* spp. Untersaat'.

zu 3) In jedem Anbausystem wurden einzelne Unkrautarten nicht ausreichend kontrolliert. Im Maisanbau mit '*Festuca* spp. Untersaat' führte der Verzicht auf Herbizide gegen monokotyle Unkrautarten zu einem Anstieg der Dichte von *Echinochloa crus-galli* und *Poa annua*. Im Anbausystem mit '*Lolium* spp. Untersaat' trat im Laufe der drei Versuchsjahre ein Anstieg in der Dichte von *E. crus-galli* auf, der jedoch nicht signifikant war. Im Anbausystem 'ohne Untersaat' wurde *Poa annua* nicht ausreichend kontrolliert. Die Dichte dieser Unkrautart war im Anbausystem 'ohne Untersaat' in jedem Jahr signifikant höher als im Anbausystem mit '*Lolium* spp. Untersaat'.

zu 4) Die Trockenmasseerträge der drei getesteten Anbausysteme waren in jedem Jahr vergleichbar. Die unterschiedlichen Witterungsverläufe im Versuchszeitraum beeinflussten die Erträge der drei Anbausysteme gleichstark. Ein Verzicht auf *S-Metolachlor* führte nicht zu einer Abnahme der Trockenmasseerträge. Lediglich bei den Trockensubstanzgehalten war ein signifikanter Anstieg beim Maisanbau mit *Festuca* spp. Untersaat zu beobachten. Der Mais in diesem Anbausystem war früher erntereif.

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass über einen Zeitraum von drei Jahren ein wiederholter Maisanbau mit *Lolium* spp. Untersaat und gleichzeitigem Verzicht auf *S-Metolachlor* möglich ist. Die im Versuchszeitraum aufgetretenen Unterschiede in der Witterung bestätigt die Robustheit des Anbausystems der '*Lolium* spp. Untersaat'. Ertragsverluste wurden bei einem Anbau mit Grasuntersaaten nicht festgestellt. Einzig die Kontrolle von *Echinochloa crus-galli* stellt eine Unsicherheit für einen langfristigen Maisanbau in diesem System dar.

Summary

Since the year 2006, the detection of soil active herbicides and their metabolites increased in groundwater in Germany. In areas with continuous maize cropping systems, metabolites of the soil active ingredient *S-Metolachlor* are frequently detected. Due to its good soil effect, *S-Metolachlor* is an important component in numerous herbicides.

A three-year field experiment was conducted to test, if continuous maize cropping with intercrops allows dispense on soil active ingredient *S-Metolachlor*. Yield losses and an uncontrolled spread of adapted weed species should be avoided.

We tested two maize cropping systems with foliar active herbicides and intercropped grass against the previous standard system without intercropping and the use of soil-active herbicide *S-Metolachlor*. In the cropping system '*Lolium* spp. intercropping', we dispensed the application of soil-active herbicides. In the cropping system '*Festuca* spp. intercropping', we additionally avoid the use of herbicides against monocot weed species.

The experiment based on four questions. 1) Has the adaption of the herbicide treatments in the tested cropping systems a distinguishable effect on weed vegetation? 2) Is weed density equally controlled by the tested cropping systems? 3) Is repeated maize cropping with intercropping grass possible without a spread of individual weed species? 4) What effect has maize cropping with intercropping grass on yield?

1) The efficacy of the herbicide treatment in the cropping system '*Lolium* spp. intercropping' was as effective as the herbicide treatment in the cropping system without intercrop and use of soil-active herbicide *S-Metolachlor*. In contrast, in the cropping system '*Festuca* spp. intercropping' we observed an insufficient herbicide efficacy against the monocot species *Poa annua*.

2) The weed densities in the tested cropping systems only differed after maize harvest in the winter months. The weed density of the cropping system '*Lolium* spp. intercropping' was smallest in all years. In the cropping systems '*Festuca* spp. intercropping' and 'without intercropping', the weed density increased. In the second and third year of the experiment, the weed density in these cropping systems were significantly higher in comparison to the cropping system with '*Lolium* spp. intercropping'.

3) The cropping systems differed in the control of individual weed species. In the maize cropping system with '*Festuca* spp. intercropping', dispense on herbicides against monocot

weed species caused an increase in the density of *Echinochloa crus-galli* and *Poa annua*. In the cropping system 'Lolium spp. intercropping' the density of *E. crus-galli* increased during the three-year period, however non-significantly. In the cropping system 'without intercropping' *P. annua* was not sufficiently controlled. In every year the density of this species was in the cropping system no intercropping higher than in the cropping system 'Lolium spp. intercropping'.

4) In this experiment, the three cropping systems did not differ in their maize yield quantities in any year. The different weather conditions during the experimental period affected the yields of all cropping systems the same. In contrast, the dry matter content increased significantly in maize cropped with 'Festuca spp. intercropping'. Thus, maize in this cropping system was ready for harvest earlier.

Over a three-year period, the cropping system with *Lolium* spp. as intercrop confined weeds as effectively as the common practice using *S-Metolachlor*. The differences in weather conditions confirm the robustness of the 'Lolium spp. intercropping' system. No yield losses were observed. Only the control of *Echinochloa crus-galli* represents an uncertainty for long-term maize cropping in this system.

Abbildungsverzeichnis

- Fig. 1: Dichte von *P. annua* zu den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug', getrennt nach Versuchsgliedern, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zu den Terminen (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$) 28
- Fig. 2: Dichte von *S. media* zu den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug' für die Versuchsglieder, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zu den Terminen (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$) 29
- Fig. 3: Lage der Versuchsstandorte im Landkreis Leer, so wie ein Ausschnitt der Lage des Landkreis Leer in Niedersachsen. Die Versuchsstandorte sind numerisch gekennzeichnet (1 bis 9). 38
- Fig. 4: Niederschlags- und Temperaturdaten der Wetterstation Emden des Deutschen Wetterdienstes für die Monate April bis Oktober der Jahre 2017 und 2018, sowie das langjährige Mittel 39
- Fig. 5: Unkrautdichten der fünf Leitunkräuter, Boxplots, Daten für die Jahre 2017 und 2018, alle Standorte, Versuchsglieder und Termine, angegeben sind der Mittelwert, das obere und untere Quantil $n=405$ 44
- Fig. 6: Dichten von *Echinochloa crus-galli* und *Poa annua* an den 9 Versuchsstandorten zum Zeitpunkt „vor Herbizid“ für die Jahre 2017 und 2018, alle Versuchsglieder pro Standort, Mittelwerte + Standardabweichung, $n=9$ 45
- Fig. 7: Unkrautdichten zu den fünf Terminen der Unkrauterfassungen in den Jahren 2017 und 2018, Mittelwerte aller Standorte und Versuchsglieder, $n=81$. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Terminen (Tukey Test, $P < 0,05$) 46
- Fig. 8: Unkrautdeckungsgrad in den Versuchsgliedern zu den einzelnen Terminen der Unkrauterfassung in den Jahren 2017 und 2018, Mittelwerte der Standorte, $n=27$. (ohne US = ohne Untersaat, Festuca US = *Festuca rubra* Untersaat, Lolium US = *Lolium* spp. Untersaat) 47
- Fig. 9: *Lolium* spp. Untersaat (links) und *Festuca rubra* Untersaat (rechts) am Standort 4, Termin vor Pflug 2018 47
- Fig. 10: Deckungsgrad der Untersaaten in den Versuchsgliedern an zwei Terminen in den Jahren 2017 und 2018, Mittelwert + Standardabweichung, alle Standorte, $n=27$. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern (Tukey Test, $P < 0,05$). (Festuca US = *Festuca rubra* Untersaat, Lolium US = *Lolium* spp. Untersaat) 48
- Fig. 11: Maisertrag zum Zeitpunkt der Ernte in den Versuchsgliedern in den Jahren 2017 und 2018, Trockengewicht Mittelwert + Standardabweichung $n=27$. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen (Tukey Test, $P < 0,05$). (ohne US = ohne Untersaat, Festuca US = *Festuca rubra* Untersaat, Lolium US = *Lolium* spp. Untersaat) 49
- Fig. 12: Weed density in the cropping systems assessed at “sowing”, “before herbicide”, “after herbicide”, “after harvest” and “before plough” 2017-2019, $n=27$ 67
- Fig. 13: Density of *E. crus-galli* and *P. annua* in the cropping systems 2017-2019. Different letters indicate significant differences (*E. crus-galli* = Friedman Test; *P. annua* = Tukey Test, $P < 0.05$), $n=27$ 68

Fig. 14: Weed cover in the cropping system treatments 2017-2019. Different letters indicate significant differences (Tukey Test, $P < 0.05$), $n = 27$.	69
Fig. 15: Cover of the intercropping grasses in the two treatments “after harvest” and “before plough” 2017-2019.	70
Fig. 16: Intercrop and weed cover in the treatments with <i>Lolium</i> spp. (left) and <i>Festuca</i> spp. (right). Weed assessments “after harvest” and “before plough”, all years, $n=162$, Pearson-test for correlation, transformed data.	70

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht über die durchgeführten Maßnahmen in den Versuchsgliedern.	25
Tab. 2: Mittlerer Gesamtdeckungsgrad (%), Unkrautdeckungsgrad (%) und Untersaaten Deckungsgrad (%) (in Klammern Standardabweichung) zu den Terminen der Unkrauterfassung ‘nach Ernte’ und ‘vor Pflug’, getrennt nach Versuchsgliedern.	27
Tab. 3: Gesamtunkrautdichte (geometrisches Mittel) zu den Terminen der Unkrauterfassung ‘nach Ernte’ und ‘vor Pflug’, getrennt nach Versuchsgliedern	27
Tab. 4: Mittlerer Anteil von <i>P. annua</i> und <i>S. media</i> am Unkrautdeckungsgrad (%) (in Klammern Standardabweichung) zu den Terminen der Unkrauterfassung ‘nach Ernte’ und ‘vor Pflug’, getrennt nach Versuchsgliedern.	30
Tab. 5: In den Versuchsgliedern eingesetzte Herbizide mit Wirkstoffen und Aufwandmengen, ausgebrachte Gräser mit Aussaatstärke	41
Tab. 6: Mais Trockensubstanzgehalte (%) in den Versuchsgliedern zum Zeitpunkt der Ernte in den Jahren 2017 und 2018, $n=27$.	49
Tab. 7: The cropping system treatments - active ingredients applied, product and applied dose, grass species sown and seeded amount.	63
Tab. 8: Factors and their interactions (p-values in the mixed model) affecting weed density, density of <i>P. annua</i> , weed cover, intercropping cover, yield (t/ha DM) and dry matter (% content).	66
Tab. 9: Mean weed density (plants/m ²), in the cropping systems. Different letters indicate significant differences (Tukey Test, $P < 0.05$), all assessment dates, $n = 135$.	67
Tab. 10: Density (plants/m ²) of the ten most common weed species in the experiment assessed before herbicide (bh) and after herbicide (ah) in the cropping systems. Percentage herbicide efficacy (he), according to Henderson & Tilton (1955).	68
Tab. 11: Mean yield (dry matter t/ha) and dry matter (content %), in the cropping systems, $n = 27$. Different letters indicate significant differences (Tukey Test, $P < 0.05$), $n = 27$.	71

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Einführung in das Thema

In Niedersachsen wird das Trinkwasser zu annähernd 100% aus Grundwasservorkommen und den Oberharz-Talsperren gewonnen. Um die Qualität zu sichern ist im Paragraph 6 Absatz 3 der Trinkwasserverordnung das sogenannte Vorsorgeprinzip (Minimierungsgebot für chemische Stoffe) verankert. Dies besagt:

„Konzentrationen von chemischen Stoffen, die das Trinkwasser verunreinigen oder seine Beschaffenheit nachteilig beeinflussen können, sollen so niedrig gehalten werden, wie dies nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung von Einzelfällen möglich ist.“

Der Eintrag von Spurenstoffen wie zum Beispiel Pflanzenschutzmittel Wirkstoffen und deren Abbauprodukten (Metaboliten) stellt einen Verstoß gegen dieses Prinzip und eine Gefährdung der Trinkwasserqualität dar.

1.1.1 Pflanzenschutzmittel- und Metabolitenfunde im Grundwasser

Seit 1990 ist die Anzahl der im Grundwasser nachgewiesenen Wirkstoffe niedersachsenweit rückläufig (NLWKN, 2020). Im Gegensatz dazu gab es bei den so genannten nicht relevanten Metaboliten einen starken Anstieg. Als nicht relevante Metabolite werden die Abbauprodukte der Pflanzenschutzmittel Wirkstoffe bezeichnet, die nach aktueller Einschätzung keine human- und ökotoxikologische Relevanz besitzen (Umweltbundesamt, 2008). Sie stellen jedoch eine Verunreinigung des Grundwassers mit Spurenstoffen dar, die aus Sicht der Trinkwasserversorgung unerwünscht ist.

Datenanalysen konnten einen Zusammenhang zwischen den Funden von nicht relevanten Metaboliten im Grundwasser und der Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche in den betroffenen Trinkwassergewinnungsgebieten belegen (NLWKN, 2015). Im Fokus stehen die drei Wirkstoffe *S-Metolachlor*, *Chloridazon* oder *Metazachlor*, die in zahlreichen Herbiziden als bodenwirksame Komponente enthalten sind. Metabolite des Maisherbizides *S-Metolachlor* werden vermehrt in den Anbauregionen des Mais im Nordwesten Niedersachsens nachgewiesen, während die Abbauprodukte des Rübenherbizides *Chloridazon* gehäuft in den Rübenanbaugebieten Ostniedersachsens festgestellt werden (NLWKN, 2015).

Die Funde der Abbauprodukte haben Auswirkungen auf die Zulassung der Herbizide. Ein wiederholter Nachweis von nicht relevanten Metaboliten kann ein lokales Anwendungsverbot für den betreffenden Wirkstoff zur Folge haben (BVL, 2021). Zum 01.01.2021 waren in

Deutschland 20 Trinkwassergebiete ausgewiesen, in denen aufgrund von Funden nicht relevanter Metabolite die Anwendung mindestens eines der drei Wirkstoffe *S-Metolachlor*, *Chloridazon* oder *Metazachlor* verboten war.

Die Ursache für die Einträge der nicht relevanten Metabolite ins Grundwasser ist selten auf eine unsachgemäße Anwendung der Herbizide zurückzuführen. Neben dem intensiven Einsatz der Herbizide sind ungünstige Standortfaktoren ein zweiter wichtiger Faktor. Der Zulassungsinhaber des Wirkstoffes *S-Metolachlor* empfiehlt zum Beispiel auf einen Einsatz s-metolachlorhaltiger Herbizide auf Böden mit einem hohen Sandanteil (> 80 %) und Grundwasserflurabständen von weniger als 5 m zu verzichten (Syngenta, 2017).

1.1.2 Unkrautbekämpfung im Mais und Wasserschutz

Solche Standorte sind im Nordwesten Deutschlands im Weser-Ems Gebiet weit verbreitet. Dort wirtschaften an der Küste sowie in den südlich daran angrenzenden Kreisen vornehmlich Ackerfutterbaubetriebe. Auf dem knappen Ackerland wächst zur Hälfte Mais, ein Drittel wird mit Getreide bestellt (LSKN, 2011). Auf vielen Ackerflächen wird wiederholt Silomais angebaut. Echte Fruchtfolgen mit Wechsel zwischen Winterungen und Sommerungen bzw. Blatt- und Halmfrüchten finden in dieser Region kaum statt (Steinmann und Dobers, 2013). Dies hat Auswirkungen auf die Unkrautvegetation auf solchen Flächen. Der wiederholte Anbau von Silomais begünstigt die Selektion schwer zu bekämpfender Unkrautarten. Typische Unkrautarten für einen langjährigen Maisanbau sind *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Poa annua*, *Solanum nigrum* oder *Stellaria media* (Mehrtens et al., 2005; Mol et al., 2012).

Zur Beseitigung der Verunkrautung wird im konventionellen Maisanbau in erster Linie auf den Einsatz von Herbiziden gesetzt. Die Auswahl der Herbizide richtet sich dabei nicht nach der vorhandenen Unkrautvegetation, sondern erfolgt im Breitbandverfahren mit einer Kombination aus Boden- und Blattherbizid gegen möglichst viele ein- und zweikeimblättrige Unkräuter, unabhängig davon, ob diese wirklich vorhanden sind (Kuhlmann et al., 2020). Ein Wirkstoff-Ranking aus dem Jahr 2011 zeigt die große Bedeutung von *S-Metolachlor* für die chemische Unkrautbekämpfung im Mais (Roßberg, 2013). Der Wirkstoff wurde in ca. 32 % der erhobenen Betriebe eingesetzt.

Eine Anpassung der Herbizidstrategie in Form eines Wechsels zu anderen bodenaktiven Herbizidwirkstoffen wie *Flufenacet*, *Pethoxamid* oder *Dimethenamid-P* führt nicht zu einer Reduktion der Einträge von nicht relevanten Metaboliten ins Grundwasser.

Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Abbauprodukte dieser Wirkstoffe bei vermehrter Anwendung ebenfalls im Grundwasser nachgewiesen werden (NLWKN, 2020). Eine geringe Eintragsgefahr ins Grundwasser besteht nach derzeitiger Einschätzung nur für Wirkstoffe blattaktiver Herbizide. Bei der Anwendung dieser Herbizide wurden bislang keine Abbauprodukte im Grundwasser nachgewiesen. Zudem ist für diese Wirkstoffe bekannt, dass sie schneller im Boden abgebaut werden (Umweltbundesamt, 2016).

Es stellt sich die Frage, wie ein erfolgreiches Unkrautmanagement bei gleichzeitigem Verzicht auf die derzeit verfügbaren Bodenherbizide gestaltet werden kann. Hierfür sind im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes pflanzenbauliche Maßnahmen von besonderem Interesse. De Mol et al. (2015) analysierten, dass von vielen untersuchten pflanzenbaulichen Maßnahmen der Einfluss der Fruchtfolge auf die Unkrautflora im Mais am deutlichsten war. Eine Fruchtfolge ist für Ackerfutterbaubetriebe aufgrund der geringen Verfügbarkeit an geeigneten Ackerflächen wenig attraktiv. Zudem können sie lediglich den Silomais für die Fütterung des Viehs selbst verwerten.

1.1.3 Ziele dieser Arbeit

Ziel dieser Arbeit war es den mehrjährigen Maisanbau zu erhalten und gleichzeitig auf den Einsatz bodenaktiver Herbizide zu verzichten. Erreicht werden sollte dieses Ziel über die Einbringung einer Untersaat. Die Untersaat entspricht keiner echten Fruchtfolge, erhöht jedoch die biologische Vielfalt auf der Fläche.

Die unkrautunterdrückende Wirkung der Untersaaten ist aus dem ökologischen Anbau bekannt (Brust et al., 2011; Fischer und Böhm, 2016). Die bislang erzielten Ergebnisse zeigen, dass die Untersaat als alleinige Maßnahme nicht ausreicht, um Ertragsverluste durch Unkrautkonkurrenz zu vermeiden. Daher wurde nicht auf den Einsatz von blattaktiven Herbiziden verzichtet.

Untersaaten sind in der konventionellen Landwirtschaft nicht unbekannt. Die Ziele, die mit dieser Maßnahme verfolgt werden, waren bislang jedoch andere. So gibt es in Wasserschutzgebieten bereits seit vielen Jahren eine finanzielle Förderung für diese Maßnahme, um eine Reduktion der Auswaschungsverluste durch Nitrat zu erreichen. Weitere Gründe für einen Maisanbau mit Untersaaten sind die Verringerung der Winderosion und die Erhöhung des Humusgehaltes auf leichten Böden.

In diesem Versuch wurde überprüft, ob Mais Anbausysteme mit Untersaat in Kombination mit blattaktiven Herbiziden für eine effektive Unkrautunterdrückung ohne Ertragsverluste geeignet sind. Besonders attraktiv für konventionell wirtschaftende Ackerfutterbaubetriebe sind Grasuntersaaten. Sie ermöglichen den Einsatz von Herbiziden gegen das gesamte Spektrum der zweikeimblättrigen Unkrautarten. Zudem ist die Untersaat im folgenden Frühjahr als Futter für die Betriebe nutzbar.

Während der Anbauphase wird der Mais durch den Einsatz blattaktiver Herbizide vor einer Unkrautkonkurrenz geschützt und gleichzeitig ein Eintrag von nicht relevanten Metaboliten ins Grundwasser verhindert. Nach der Maisernte unterdrückt die flächendeckende Untersaat eine Ausbreitung ganzjährig keimender Unkrautarten in den Wintermonaten. Folgende Ziele sollten erreicht werden:

- es wird auf den Einsatz von Bodenherbiziden verzichtet
- die Ausbreitung schwer bekämpfbarer Unkrautarten wird verhindert
- es treten keine Ertragsverluste auf

1.2 Gliederung der Dissertation

Die vorgelegte Dissertationsschrift gliedert sich in fünf Kapitel. Im Anschluss an die Einleitung wird im zweiten Kapitel anhand der erhobenen Unkrautdaten gezeigt, dass die Versuchsflächen bereits im ersten Jahr der Untersuchung eine typische Verunkrautung für einen mehrjährigen Maisanbau aufwiesen. Die Ergebnisse der Unkrauterfassungen nach der Ernte des Silomais und im März des Folgejahres zeigten zudem, dass der Unkrautdeckungsgrad in den Wintermonaten auf Flächen ohne Begrünung anstieg. Auf den begrünten Flächen wurde durch die Untersaat eine Zunahme des Unkrautdeckungsgrades verhindert. Die Unkrautarten *Stellaria media* und *Poa annua* bildeten in den Wintermonaten die Leitunkräuter.

Der Versuchszeitraum 2017 bis 2019 war durch sehr unterschiedliche Witterungsverläufe gekennzeichnet. Während es im Jahr 2017 in der Phase des Maisanbaues zu sehr hohen Niederschlagsmengen kam, war das Jahr 2018 durch große Trockenheit gekennzeichnet. Im dritten Kapitel wird anhand der beiden Jahre der Einfluss der Witterung auf die Unkrautvegetation und die Untersaaten dargestellt. Zudem wird gezeigt, welchen Einfluss die Witterung auf die Erträge der unterschiedlichen Anbausysteme hatte.

Das vierte Kapitel gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf des Experiments. Es werden die Ergebnisse im Verlauf der drei Versuchsjahre in den Mittelpunkt gestellt und gezeigt, wie sich eine wiederholte Bewirtschaftung in gleicher Form auf die Unkrautvegetation auswirkt. Dabei wird dargestellt, wie unterschiedlich erfolgreich die auftretenden Unkrautarten durch die getesteten Anbausysteme unterdrückt werden.

Im fünften Kapitel wird eine Bewertung der erzielten Ergebnisse vorgenommen und ein Ausblick zur Umsetzung der Versuchsziele gegeben.

1.3 Literaturverzeichnis

- Brust J, Gerhards R, Karanisa T, Ruff L, Kipp A (2011): Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. *Gesunde Pflanzen* 4:191–198
- BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), (2021): Anwendungsbestimmung NG301-1 und betroffene Pflanzenschutzmittel. <https://www.bvl.bund.de>
- Fischer J, Böhm H (2016): Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais- Bohnen-Gemengen. *Julius-Kühn-Archiv* 452:439-445
- Kuhlmann J, Köhler L, Warnecke-Busch G, Wolber D M, Jöring T (2020): Strategien zur Unkrautregulierung in Mais in wassersensiblen Gebieten. *Julius-Kühn-Archiv* 464:471–476
- LSKN, (Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen), (2011): Landwirtschaftliche Unternehmen oder bäuerliche Betriebe? Agrarstruktur in Niedersachsen (9), <https://www.statistik.niedersachsen.de>
- Mehrtens J, Schulte M, Hurle K (2005): Unkrautflora in Mais. *Gesunde Pflanzen* 8:206–218
- Mol F de, Redwitz C von, Schulte M, Gerowitt B (2012): Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002–2004. *Julius-Kühn-Archiv* 434:655–662
- Mol F de, Redwitz C von, Gerowitt B (2015): Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* 6:574–585
- NLWKN, (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), (2015): Themenbericht Pflanzenschutzmittel Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser, (Band 23). <https://www.nlwkn.niedersachsen.de>
- NLWKN, (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), (2020): Themenbericht Pflanzenschutzmittel II Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser, (Band 39). <https://www.nlwkn.niedersachsen.de>
- Roßberg D (2013): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen* 4:141–151

Steinmann H-H, Dobers E S (2013): Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *Journal of Plant Diseases and Protection* 2:85–94

Syngenta (2017): Produktinformationen Pflanzenschutz.

<https://www.syngenta.de/produkte/pflanzenschutz>

Umweltbundesamt (2008): Trinkwasserhygienische Bewertung stoffrechtlich "nicht relevanter" Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 7:797–801

Umweltbundesamt (2016): Anfrage zu Einträgen nicht-relevanter Metaboliten von Pflanzenschutzmitteln Wirkstoffen in das Grundwasser. *Für Mensch & Umwelt*: 05. Oktober 2016

Kapitel 2

Unkrautvegetation nach der Maisernte in Silomaissystemen mit Untersaaten

veröffentlicht 2020 in Julius-Kühn-Archiv 464, 464–470

Unkrautvegetation nach der Maisernte in Silomaissystemen mit Untersaaten

Jens Wienberg^{1,2}, Bärbel Gerowitt¹

¹ Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48, 18051 Rostock

² Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Ostfriesland, Am Pferdemarkt 1, 26603 Aurich

2.1 Zusammenfassung

In der Landwirtschaft Ostfrieslands ist ein langjähriger Anbau von Silomais auf der gleichen Fläche verbreitet. Im Anschluss an die Maisernte folgt häufig eine Brache bis zum erneuten Anbau von Silomais. Späte Erntetermine und eine schlechte Befahrbarkeit der Flächen verhindern regelmäßig die Aussaat einer Zwischenfrucht. In einem zweijährigen Versuch wurde überprüft, ob dies die Ausbreitung der Unkrautvegetation in den Wintermonaten begünstigt.

Hierzu wurden in den Jahren 2017 bis 2019 an neun Standorten mit langjährigem Maisanbau Versuche mit identischem Design angelegt. Auf den Flächen wurden die Parzellen der drei Versuchsglieder 'Festuca Untersaat', 'Lolium Untersaat' und 'ohne Untersaat' als Blockanlage mit drei Wiederholungen angeordnet. Unkrauterfassungen erfolgten 40 Tage nach der Ernte des Silomais und im März des Folgejahres, unmittelbar vor der Flächenvorbereitung. Dabei zeigte sich, dass der Unkrautdeckungsgrad in den Wintermonaten auf Flächen ohne Begrünung ansteigt. Auf den begrünten Flächen wurde durch die Untersaat eine Zunahme des Unkrautdeckungsgrades verhindert. Den höchsten Deckungsgrad erzielte die *Lolium* spp. Untersaat bei dem geringsten Unkrautdeckungsgrad.

Stellaria media und *Poa annua* bildeten in den Wintermonaten die Leitunkräuter. Während bei *S. media* die Dichte und der Anteil am Unkrautdeckungsgrad durch eine *Lolium* spp. Untersaat reduziert wurde, konnte bei *P. annua* durch diese Maßnahme lediglich die Ausbreitung eingedämmt werden. Dass die Dichte von *P. annua* durch die *Lolium* spp. Untersaat beeinflusst wurde, zeigte sich anhand einer deutlichen Differenzierung der Dichten zwischen den getesteten Versuchsgliedern.

2.2 Einleitung

Im Nordwesten Niedersachsens mit seinen Ackerfutterbaubetrieben ist ein langjähriger Anbau von Silomais üblich. Zwischen den Maiskulturen folgt häufig eine Phase der Brache. Späte Erntetermine oder witterungsbedingt schlechte Befahrbarkeit der Flächen verhindern in manchen Jahren die Aussaat einer Zwischenfrucht. Von der Brache könnten in milden Wintern ganzjährig keimende Unkrautarten profitieren. Eine fehlende Konkurrenz von Zwischenfrüchten um Licht, Wasser und Nährstoffe ermöglicht diesen Unkrautarten eine intensive Besiedlung der Flächen. Dies kann nur durch eine rechtzeitige, flächendeckende Begrünung der Ackerflächen im Herbst vermieden werden (Cutti et al., 2016). Wo eine rechtzeitige Ausbringung der Zwischenfrüchte scheitert, stellen Untersaaten eine Alternative dar. Diese werden bereits im Laufe des Maisanbaues ausgesät und mindern die Abhängigkeit von der Witterung im Herbst.

Untersaaten sind im Zusammenhang mit dem Anbau von Silomais bereits lange bekannt. Die Reduzierung von Auswaschungsverlusten, die Erhöhung des Humusgehaltes oder die Vermeidung von Winderosion sind typische Ziele, die mit einer solchen Maßnahme verfolgt werden (Aufhammer und Kübler, 1997). Der Aspekt der Unkrautunterdrückung stand bislang nur im ökologischen Anbau im Vordergrund (Brust et al., 2011).

Im ökologischen Anbau belegen Untersuchungen, dass die Ausbringung einer Untersaat die Unkrautvegetation beeinflusst (Fischer und Böhm, 2016; Hartwig und Ammon, 2002). Eine völlige Unkrautfreiheit ist mit dem Verfahren jedoch nicht zu erwarten (Heyland und Merkelbach, 1985). Dies liegt unter anderem daran, dass der Einfluss der Untersaat auf die einzelnen Unkrautarten unterschiedlich hoch ist (Fischer und Böhm, 2016).

Für den integrierten Anbau sind vor allem Untersaaten mit Gräsern interessant, weil diese eine chemische Unkrautbekämpfung von zweikeimblättrigen Unkräutern während der Maiskultur erlauben. Das Hauptwachstum der Grasuntersaaten beginnt im Anschluss an die Maisernte im Herbst. Zu diesem Zeitpunkt ist kein direkter Einfluss der bis dahin applizierten Herbizide mehr zu erwarten. Die Unkräuter und Untersaaten können sich auf den abgeernteten Flächen uneingeschränkt entwickeln. In einem zweijährigen Versuch wurde überprüft, ob die Unkrautvegetation in den Wintermonaten durch eine Untersaat unterdrückt wird. Der Versuch startete im Jahr 2017 und endete im Frühjahr 2019. Folgende Fragen wurden hierbei überprüft:

1. Wird im Maisdaueranbau durch eine Kombination von Herbizid und Grasuntersaat die Unkrautdichte der in den Wintermonaten auftretenden Unkrautarten verändert?
2. Wird in den Wintermonaten das Auftreten schwer zu bekämpfende Unkrautarten durch eine Grasuntersaat reduziert?
3. Wird im Maisdaueranbau der Unkrautdeckungsgrad auf abgeernteten Ackerflächen durch das Einbringen einer Grasuntersaat gesenkt?

2.3 Material und Methoden

2.3.1 Versuchsstandorte

In den Jahren 2017 bis 2019 wurden auf neun Flächen landwirtschaftlicher Praxisbetriebe Feldversuche angelegt. Alle Standorte lagen im Landkreis Leer. Die Flächen wurden bereits langjährig mit Silomais bestellt, so dass eine „maistypische“ Verunkrautung vorlag (Wienberg et al., 2018). Die Versuchsstandorte unterschieden sich durch ihre Bodenarten, die Düngung, die angebauten Maissorten, Zeitpunkte der Pflanzung und der Ernte. Einheitlich waren die Anlage der Parzellen, die Aussaatstärke der Untersaaten sowie der in den Versuchsgliedern durchgeführte Pflanzenschutz mit Herbiziden.

2.3.2 Versuchsaufbau

Es wurden drei Varianten getestet, in denen der Mais ohne Untersaat oder mit zwei verschiedenen Gräserarten als Untersaat angebaut wurde. Je Versuchsglied wurden drei Wiederholungen angelegt. Auf allen Flächen wurde für den Versuch ein identisches Design verwendet. Dies war ein lateinisches Quadrat, bei dem die einzelnen Parzellen 7*7 Meter groß waren und vollständig randomisiert wurden. Die Parzellen wurden mit dem Polarverfahren vermessen, alle Versuchsglieder blieben in den drei Jahren am gleichen Standort. Die Restfläche wurde vom Bewirtschafter, wie in der Vergangenheit üblich, mit Silomais bestellt. Die beiden Versuchsglieder mit Untersaat unterschieden sich in ihren Anforderungen an den Aussaatzeitpunkt und den Herbizideinsatz.

Es wurde zum einen eine Mischung aus 50% *Lolium multiflorum* und 50% *Lolium perenne* verwendet, zum anderen wurde eine Untersaat mit *Festuca rubra* durchgeführt. Bei der 'Lolium Untersaat' konnte aufgrund der späteren Aussaat noch ein Einsatz von Herbiziden gegen einkeimblättrige Unkräuter durchgeführt werden. Bei der 'Festuca Untersaat' war dies

aufgrund der frühen Aussaat nicht mehr möglich. Die Herbizidmaßnahmen wurden in allen Jahren an allen Standorten zum Zeitpunkt des 3 bis 4 Blattstadium des Mais (BBCH 13 bis 14) durchgeführt.

In Tabelle 1 sind die in den Versuchsgliedern während der Maisvegetation eingesetzten Wirkstoffe, die ausgebrachten Aufwandmengen, so wie die verwendeten Gräser mit ihrer Aussaatstärke aufgeführt.

Tab. 1: Übersicht über die durchgeführten Maßnahmen in den Versuchsgliedern.

Versuchsglied	Aussaattermin und – stärke Untersaat	Wirkstoffe + Aufwandmenge
Ohne Untersaat	————	<i>Terbuthylazin</i> + <i>Mesotrione</i> 1,2 L/ha <i>S-Metolachlor</i> 1,0 L/ha <i>Prosulfuron</i> 20 g/ha <i>Rimsulfuron</i> 20 g/ha
<i>Lolium</i> Untersaat	6 Blattstadium Mais 15 kg/ha	<i>Mesotrione</i> 1,0 L/ha <i>Bromoxynil</i> 0,3 L/ha <i>Rimsulfuron</i> 20 g/ha
<i>Festuca</i> Untersaat	Aussaat Mais 7 kg/ha	<i>Mesotrione</i> 1,0 L/ha <i>Thifensulfuron Methyl</i> 15 g/ha

2.3.3 Datenerhebung Unkräuter und Untersaaten

Die Unkrauterfassungen wurden mit einem „Göttinger Schätzrahmen“ (0,1m²) durchgeführt. In der Vegetationsruhe wurden Daten zu den beiden für die Wintermonate relevanten Terminen erfasst.

- `Nach Ernte`: 40 Tage nach der Maisernte im Herbst
- `vor Pflug`: ca. 2 Wochen vor der Flächenvorbereitung für die Folgekultur

An jedem Termin wurden in jeder Parzelle neun Messwiederholungen erhoben. Folgende Daten wurden erfasst:

- Gesamtdeckungsgrad in Prozent
- Dichte jeder Unkrautart
- Anteil der einzelnen Unkräuter am Unkrautdeckungsgrad in Prozent
- Deckungsgrad der Untersaat in Prozent

2.3.4 Versuchsauswertung

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm R Statistik Version 3.6.1 (R Core Team, 2013). Die Messwertwiederholungen in den Parzellen, die Standorte und die Jahre wurden zusammengefasst. Untersuchungsfaktoren waren Termin (n=2) und Versuchsglied (n=3). Für die Unkrautdichte, die Dichte von *Poa annua* und die Dichte von *Stellaria media* wird das geometrische Mittel dargestellt. Die Dichten der Leitunkrautarten werden in Box-Plots abgebildet. Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern in der Unkrautdichte, der Dichte von *P. annua* und der Dichte von *S. media* wurden mittels Kruskal-Wallis Test (nicht normalverteilte Daten) überprüft. Hierzu wurde das R Paket „agricolae“ verwendet.

2.4 Ergebnisse

Die in diesem Versuch erzielten Ergebnisse zeigen, dass die Versuchsglieder mit Untersaaten im Mittel einen deutlich höheren Gesamtdeckungsgrad verursachten (Tab. 2). Diese Flächen hatten zum Zeitpunkt der Unkrauterfassung 'nach Ernte' mit 47 % bzw. 45 % eine doppelt so intensive Begrünung, wie die Flächen 'ohne Untersaat'.

Der größte Teil der Begrünung war auf die ausgebrachten Grasuntersaaten zurückzuführen. Zum Termin 'nach Ernte' betrug der Deckungsgrad der '*Festuca* Untersaat' im Mittel 30 % bzw. bei der '*Lolium* Untersaat' 33%. Für einen flächendeckenden Aufwuchs ist das Wachstum der Gräser in den Wintermonaten von großer Bedeutung. Hierbei unterschieden sich die getesteten Grasarten erheblich. Der größte Zuwachs zwischen den beiden Erfassungsterminen war bei den *Lolium* spp. Gräsern zu verzeichnen. Bei dieser Untersaat nahm der mittlere Deckungsgrad um 15 % zu. Bei *Festuca rubra* wurde hingegen lediglich eine mittlere Zunahme des Deckungsgrades von 4 % erfasst (Tab. 2).

Der zweite Teil der Flächenbegrünung war auf die vorhandene Unkrautvegetation zurückzuführen. Für diesen Anteil des Gesamtdeckungsgrades galt es eine weitere Ausbreitung über die Wintermonate zu begrenzen. Dieses Ziel wurde nur in den Versuchsgliedern mit den Untersaaten erreicht. Im Versuchsglied 'ohne Untersaat' stieg der Unkrautdeckungsgrad im Mittel zwischen den Terminen 'nach Ernte' und 'vor Pflug' um 5 % an (Tab. 2).

Tab. 2: Mittlerer Gesamtdeckungsgrad (%), Unkrautdeckungsgrad (%) und Untersaaten Deckungsgrad (%) (in Klammern Standardabweichung) zu den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug', getrennt nach Versuchsgliedern.

		Versuchsglied		
	Termin	<i>Festuca</i> spp. Untersaat	<i>Lolium</i> spp. Untersaat	Ohne Untersaat
Mittlerer Gesamtdeckungsgrad	'nach Ernte'	47 (12,82) b*	45 (16,15) b*	20 (9,95) a*
	'vor Pflug'	50 (11,89) b*	60 (18,47) c*	25 (11,21) a*
Mittlerer Deckungsgrad Unkrautvegetation	'nach Ernte'	17 (8,18) b*	12 (6,76) a*	20 (9,95) c*
	'vor Pflug'	16 (6,84) b*	12 (7,94) a*	25 (11,21) c*
Mittlerer Deckungsgrad Untersaaten	'nach Ernte'	30 (13,21) a*	33 (17,04) a*	-
	'vor Pflug'	34 (12,56) a*	48 (21,48) b*	-

*Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zum jeweiligen Termin

In der Auswertung wurde zudem der Einfluss der Untersaaten auf die Unkrautdichte und die vorhandenen Leitunkräuter überprüft. Bei den Unkrauterhebungen zu den Terminen 'nach Ernte' und 'vor Pflug' wurden insgesamt 16 unterschiedliche Unkrautarten an den neun Standorten gezählt. Von diesen 16 Unkrautarten waren nur *P. annua* und *S. media* auf allen neun Versuchsflächen vertreten.

Das Versuchsglied 'ohne Untersaat' wies zum Termin 'nach Ernte' die höchste Unkrautdichte auf. Im Versuchsglied der 'Lolium Untersaat' war dieser Wert am geringsten (Tab. 3). Bis zum Termin 'vor Pflug' verringerte sich die Unkrautdichte im Versuchsglied 'Festuca Untersaat' und 'Lolium Untersaat'. Im Versuchsglied 'ohne Untersaat' stieg die Unkrautdichte hingegen leicht an.

Tab. 3: Gesamtunkrautdichte (Anzahl/m²; geometrisches Mittel) zu den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug', getrennt nach Versuchsgliedern

		Versuchsglied		
Termin		<i>Festuca</i> Untersaat	<i>Lolium</i> Untersaat	Ohne Untersaat
'nach Ernte'		93,29 a*	58,82 b*	116,46 c*
'vor Pflug'		88,76 a*	52,90 b*	119,56 c*

*Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zum jeweiligen Termin

Der Einfluss der Versuchsglieder auf die beiden Leitunkräuter war unterschiedlich hoch. Die höchsten Dichten traten im Versuchsglied 'ohne Untersaat' auf, die niedrigsten im Versuchsglied 'Lolium Untersaat' (Fig. 1). Ein Vergleich der Stichproben zu den jeweiligen

Terminen mit dem Kruskal-Wallis Test zeigte, dass zwischen den Versuchsgliedern signifikante Unterschiede in der Dichte bestanden. Die Dichte von *P. annua* stieg zwischen den Erhebungen 'nach Ernte' und 'vor Pflug' in allen drei Versuchsgliedern an.

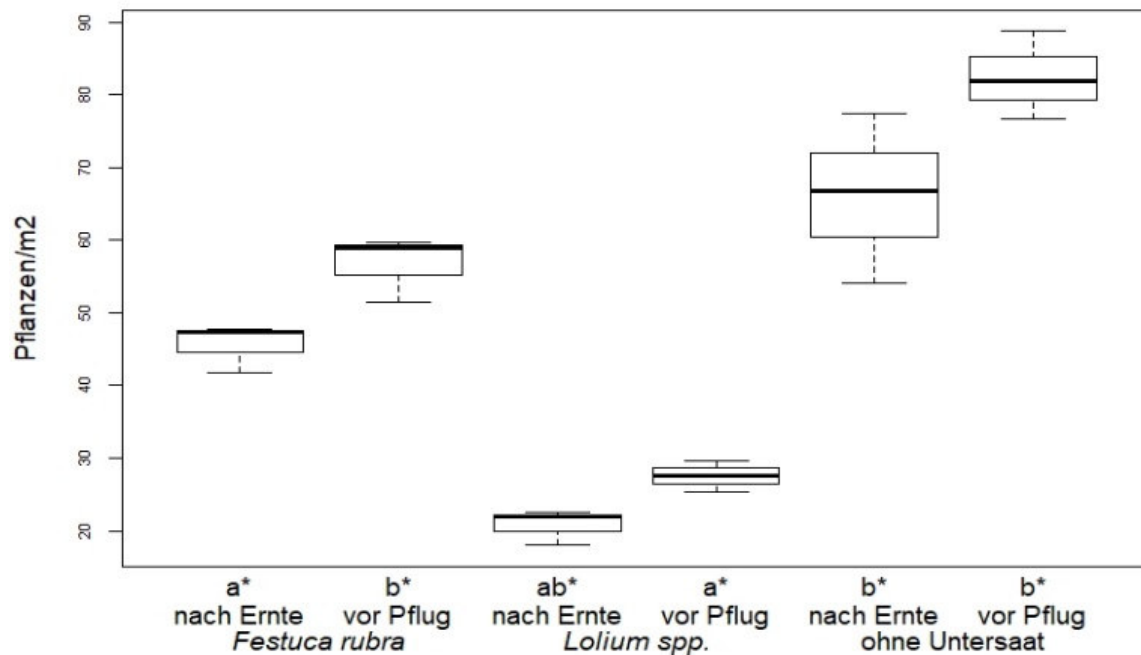


Fig. 1: Dichte von *P. annua* zu den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug', getrennt nach Versuchsgliedern, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zu den Terminen (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$)

Bei *S. media* stiegen die Dichten zwischen den Bonituren 'nach Ernte' und 'vor Pflug' nur in den Versuchsgliedern '*Festuca* Untersaat' und 'ohne Untersaat' an. Für das Versuchsglied '*Lolium* Untersaat' wurde hingegen in diesem Zeitraum eine Abnahme der Dichte festgestellt (Fig. 2). Auch für diese Unkrautart bestanden zum Termin 'vor Pflug' signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern.

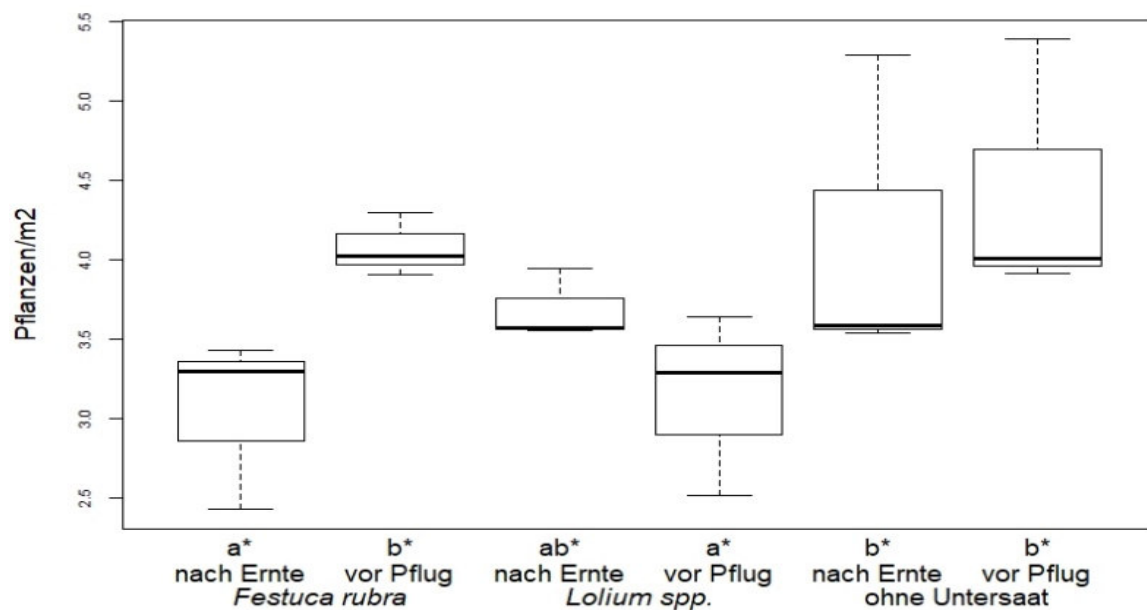


Fig. 2: Dichte von *S. media* zu den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug' für die Versuchsglieder, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern zu den Terminen (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$)

Für eine Beurteilung des Einflusses der Versuchsglieder auf die Leitunkräuter wurde zudem deren Anteil am Unkrautdeckungsgrad betrachtet. Der Anteil von *P. annua* am Unkrautdeckungsgrad stieg zwischen den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug' in allen Versuchsgliedern an (Tab. 4). Tendenziell war die Zunahme im Versuchsglied 'ohne Untersaat' mit ca. 22 % höher, als in den Versuchsgliedern mit Untersaaten. Dort nahm der Anteil von *P. annua* am Unkrautdeckungsgrad um ca. 10 % bzw. 13 % zu.

Ein etwas anderes Bild ergab sich für *S. media*. Der Anteil dieses Unkrautes am Unkrautdeckungsgrad nahm zwischen den Terminen 'nach Ernte' und 'vor Pflug' im Versuchsglied der '*Lolium* Untersaat' um ca. 5 % ab. Bei den Versuchsgliedern '*Festuca* Untersaat' und 'ohne Untersaat' blieb der Anteil am Unkrautdeckungsgrad über die Wintermonate hingegen nahezu unverändert.

Tab. 4: Mittlerer Anteil von *P. annua* und *S. media* am Unkrautdeckungsgrad (%) (in Klammern Standardabweichung) zu den Terminen der Unkrauterfassung 'nach Ernte' und 'vor Pflug', getrennt nach Versuchsgliedern

Species	Termin	Versuchsglied		
		<i>Festuca</i> Untersaat	<i>Lolium</i> Untersaat	Ohne Untersaat
<i>Poa annua</i>	'nach Ernte'	62,51 (24,66)	56,56 (21,87)	53,59 (29,15)
	'vor Pflug'	72,09 (19,93)	69,39 (30,69)	75,86 (22,19)
<i>Stellaria media</i>	'nach Ernte'	16,91 (6,82)	20,75 (6,86)	17,54 (7,38)
	'vor Pflug'	17,96 (5,12)	15,49 (4,89)	16,71 (5,89)

2.5 Diskussion

Ergebnisse zum Zwischenfruchtanbau nach Mais zeigen, dass ein rascher Flächenschluss für die Unkrautunterdrückung von hoher Bedeutung ist (Dorn et al., 2015). Dies bestätigte sich auch für den Anbau mit Untersaaten. Mit beiden getesteten Untersaaten wurde eine Zunahme des Unkrautdeckungsgrades in den Wintermonaten verhindert.

Die *Lolium* Untersaat erreichte zum Termin 'vor Pflug' den höchsten Deckungsgrad und den geringsten Unkrautdeckungsgrad. Vergleichbare Ergebnisse wurden bei einer Verwendung der beiden Grasarten im Zwischenfruchtanbau erzielt (Nelson et al., 1991). Auch dort wurden zum Ende des Winters höhere Deckungsgrade mit der Aussaat von *Lolium* spp. erreicht. Der frühe Aussaatzeitpunkt von *Festuca rubra* blieb ohne positive Auswirkung auf den Deckungsgrad der Untersaat im Winter.

Im ökologischen Landbau wurde gezeigt, dass eine flächendeckende Begrünung mit Untersaaten die Unkrautvegetation beeinflusst. Die Auswirkung auf die einzelnen Unkrautarten war jedoch unterschiedlich hoch (Cutti et al., 2016; Fischer und Böhm, 2016). Die Ergebnisse dieses Versuches belegen, dass dies auch für den integrierten Maisanbau gilt.

Die Dichten von *P. annua* stiegen in allen Versuchsgliedern über die Wintermonate an. Die drei Versuchsglieder führten jedoch zu einer signifikanten Differenzierung der Dichten. Die geringste Dichte wurde im Versuchsglied '*Lolium* Untersaat' erzielt. Im Versuchsglied '*Festuca* Untersaat' profitierte *P. annua* von einem Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden gegen einkeimblättrige Unkräuter. Nur im Versuchsglied '*Lolium* Untersaat' wurden während und nach der Maiskultur Maßnahmen zur Reduktion der Dichte von *P. annua* durchgeführt. In den beiden anderen Versuchsgliedern gab es hingegen lange Zeiträume ohne Herbizide gegen *P. annua*.

Die 'Lolium Untersaat' reduzierte die Dichte von *S. media* zwischen den Terminen 'nach Ernte' und 'vor Pflug'. In den Versuchsgliedern 'ohne Untersaat' und 'Festuca Untersaat' führte eine fehlende Untersaat bzw. ein zu geringer Deckungsgrad der Untersaat in den Wintermonaten zum Anstieg der Dichte. Dieser direkte Zusammenhang zwischen der gebildeten Biomasse und der Unkrautunterdrückung wurde bereits im ökologischen Anbau für eine Untersaat mit Wicken festgestellt (Campiglia et al., 2015).

Die Ergebnisse zu den Leitunkrautarten zeigen, dass zur Vermeidung einer Selektion einzelner Unkrautarten der gesamte Zeitraum der Bewirtschaftung betrachtet werden muss. Im Beispiel Maisanbau mit Grasuntersaat kann weder auf eine Unkrautbekämpfung in der Kultur verzichtet werden, noch auf eine Untersaat, die sich im Anschluss an die Ernte schnell entwickelt und die Flächen bedeckt. Entstehen Lücken in diesem Zeitraum, so kommt es zur Ausbreitung einzelner Unkrautarten.

Untersaaten stellen im mehrjährigen Maisanbau eine Alternative zum Zwischenfruchtanbau dar. Wurden Untersaaten bislang im konventionellen Maisanbau vorrangig zur Vermeidung von Nährstoffverlusten oder dem Schutz vor Winderosion angebaut, zeigen die Ergebnisse dieses Versuches, dass mit Untersaaten auch ein wichtiger Beitrag zur Beeinflussung der Unkrautvegetation geleistet werden kann. Die Verwendung von *Lolium* spp. Gräsern als Untersaat ermöglicht dabei während des Maisanbaues noch den Einsatz von Herbiziden gegen ein- und zweijährige Unkräuter. Entscheidend für eine erfolgreiche Unkrautunterdrückung ist die Kombination aus geeigneter Unkrautbekämpfung und hohem Deckungsgrad der Untersaat im Laufe des Winters.

2.6 Literaturverzeichnis

- Aufhammer W, Kübler E (1997): Einfluss von Reihenweite und Untersaat auf den Silomaisertrag und den Nmin-Gehalt im Boden nach der Ernte. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment 3:151–158
- Brust J, Gerhards R, Karanisa T, Ruff L, Kipp A (2011): Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. Gesunde Pflanzen 4:191–198
- Campiglia E, Radicetti E, Mancinelli R (2015): Cover crops and mulches influence weed management and weed flora composition in strip-tilled tomato (*Solanum lycopersicum*). Weed Research 4:416–425
- Cutti L, Lamego F P, Aguiar, Adalin Cezar Moraes de, Kaspary T E, Rigon C A G (2016): Winter cover crops on weed infestation and maize yield. Revista Caatinga 4:885–891
- Dorn B, Jossi W, van der Heijden M (2015): Weed suppression by cover crops: comparative on-farm experiments under integrated and organic conservation tillage. Weed Research 6:586–597
- Fischer J, Böhm H (2016): Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais- Bohnen-Gemengen. Julius-Kühn-Archiv 452:439-445
- Hartwig N L, Ammon H U (2002): Cover crops and living mulches. Weed Science 6:688–699
- Heyland K-U, Merkelbach H (1985): Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. Die Bodenkultur 4:347–359
- Nelson W, Kahn B, Roberts W (1991): Screening Cover Crops for Use in Conservation Tillage Systems for Vegetables Following Spring Plowing. Hortiscience 7:860–862
- R Core Team (2013): A language and environment for statistical computing. <https://www.r-project.org/>
- Wienberg J, Pannwitt H, Bünte R, Gerowitt B (2018): Auswirkung von Grasuntersaaten auf die Unkrautvegetation im Silomais - Eine Einführung in die Untersuchungen. 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Braunschweig, 27.02. - 01.03.2018.

Kapitel 3

Trockener Sommer, nasser Sommer – können Untersaaten Unkräuter im Maisanbau begrenzen?

veröffentlicht 2020 in Gesunde Pflanzen 72, 245–256

Trockener Sommer, nasser Sommer – können Untersaaten Unkräuter im Maisanbau begrenzen?

Jens Wienberg^{1,2}, Rolf Bünthe², Bärbel Gerowitt¹

¹ Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48, 18051 Rostock

² Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Ostfriesland, Am Pferdemarkt 1, 26603 Aurich

3.1 Zusammenfassung

In den Jahren 2017 und 2018 wurden im Landkreis Leer im Nordwesten Niedersachsens neun Versuche zum Einfluss von Untersaaten auf die Unkrautvegetation im langjährigen Maisanbau durchgeführt. Es wurden drei Versuchsglieder getestet, in denen der Mais ohne Untersaat oder mit zwei verschiedenen Gräsern (*Lolium* spp., *Festuca rubra*) als Untersaat angebaut wurde. Die Unkrautbekämpfung mit Herbiziden wurde auf das jeweilige Anbausystem abgestimmt.

Die beiden Versuchsjahre hatten sehr unterschiedliche Witterungsverläufe in der Wachstumszeit des Mais. Die Vegetationsperiode 2017 war von hohen Niederschlagsmengen geprägt, die von 2018 von einer langen Phase mit Sommertrockenheit. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, den Einfluss der Witterungsverläufe auf die drei Mais-Anbausysteme und deren Unkrautvegetation zu untersuchen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Witterungsbedingungen einen erheblichen Einfluss auf die Untersaaten und die Unkräuter hatten. Die Gesamtdichte der auftretenden Unkrautarten war im Jahr 2018 zu allen Terminen der Unkrauterfassung signifikant niedriger als im Jahr 2017. Mit *Echinochloa crus-galli* profitierte jedoch auch eine Unkrautart von der trockenen Witterung in 2018: die Dichte dieser Art war trotz der Trockenheit höher.

Im regenreichen Sommer 2017 waren die Unkrautdeckungsgrade in den Anbausystemen mit Untersaaten bis zum Versuchsende um ca. 15% niedriger. Zu diesem Zeitpunkt war im trockenen Sommer 2018 der Unkrautdeckungsgrad nur im Versuchsglied der *Lolium* spp. Untersaat ca. 5% niedriger, als im Anbausystem ohne Untersaat. Die ausgesäten *Festuca rubra* Untersaaten litten am stärksten unter der Trockenheit des Sommers 2018. Diese Untersaat

erzielte bis zum Versuchende im Mittel nur einen Deckungsgrad von 33 %, während die *Lolium* spp. Untersaat zum gleichen Zeitpunkt einen Deckungsgrad von im Mittel 48 % erreichte.

Die erzielten Trockenmasseerträge des Silomais lagen im niederschlagsreichen Sommer 2017 im Mittel bei 20,88 t/ha, im trockenen Jahr 2018 bei 19,08 t/ha. Die Erträge der Versuchsglieder unterschieden sich in beiden Jahren nicht signifikant. Der Silomais war im Jahr 2018 in den Versuchsgliedern mit Grasuntersaaten jedoch früher erntereif.

3.2 Abstract

In the years 2017 and 2018 in the district of Leer (northwest of Lower Saxony) nine experiments were conducted to investigate under sown crops and their effects on the weed vegetation in continuous maize cropping. In three treatments the maize was cultivated without an under sown crop or with two different under sown grasses (*Lolium* spp., *Festuca rubra*). Herbicide were applied according to the three cultivation systems and thus, were different.

The weather conditions of the two years differed considerably. While the growing period of maize 2017 was characterized by high precipitation, this period had a long time of summer drought in 2018. This offered the opportunity to investigate the performance of the three cropping systems and their weed vegetation under different weather conditions.

The annual weather conditions had a significant impact on the under sown crops and the weeds. In 2018 the weed density was significant lower than in 2017 at all assessment dates. With *Echinochloa crus-galli*, however, a weed species benefited from the weather conditions in 2018: despite the drought the density of this species was higher.

In the rainy year 2017 the weed cover was reduced in the cropping systems with under sown crops for approximately 15%. In the dry year 2018 the treatment with the under sown *Lolium* spp. reduced the weed cover by 5% compared to treatment without cover crops. The under sown *Festuca* spp. grasses suffered more from the drought in 2018 than *Lolium* spp. While the *Lolium* spp. under sown crop had a relative cover of 48% at the end of the experimental period, at the same time the *Festuca rubra* under sown crop covered only 33%.

In the summer 2017 with high precipitation the average amount of dry matter was 20.88 t/ha and in the year 2018 with dry weather conditions 19.08 t/ha. In both years, the yields did not differ significantly. In 2018 in the treatments with under sown grass crops the maize was earlier ready for harvest than in the treatment without an under sown crops.

3.3 Einleitung

Global waren die Jahre 2014 bis 2017 die wärmsten seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen vor ca. 150 Jahren (MU + DWD, 2018). Die neun wärmsten Jahre liegen allesamt im Zeitraum nach dem Jahr 2005. Die Auswirkungen dieser Klimaveränderungen sind auch in Niedersachsen zu registrieren. Im Weser-Ems Gebiet wird zum Beispiel für die letzten dreißig Jahre ein kontinuierlich sinkendes Niveau der Grundwasserstände beobachtet (NLWKN, 2019). Die Folgen betreffen dabei ganz unterschiedliche Lebensbereiche, wie die Trinkwasserversorgung oder auch die Landwirtschaft.

In der Landwirtschaft wirken sich die wechselnden Temperaturen und Niederschlagsmengen nicht nur auf die angebauten Ackerkulturen, sondern auch auf die auftretende Unkrautvegetation aus. Für einige typischen Unkrautarten wie *Chenopodium album* oder *Stellaria media* ist eine starke Abhängigkeit der Keimung von einer ausreichenden Bodenfeuchte bekannt (Grundy et al., 2000; Redwitz und Gerowitt, 2014). Für viele Ungräser wie *Echinochloa crus-galli* oder *Poa pratensis* wird hingegen eine hohe Widerstandsfähigkeit der Samen und der Pflanzen gegenüber Hitze und Trockenheit beschrieben (Brod, 1968; Carroll, 1943). Dies lässt vermuten, dass die steigenden Durchschnittstemperaturen der letzten Jahre langfristig zu einer Verschiebung im Spektrum der auftretenden Unkrautarten führen werden.

Untersuchungen in verschiedenen Regionen Europas zeigen, dass die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Unkrautvegetation die geographische Lage, die Klimabedingungen und die Fruchtfolge sind (Andersson und Milberg, 1998; Fried et al., 2008; Pinke et al., 2012). Weitere pflanzenbauliche Maßnahmen wie die Düngung haben eine deutlich geringere Bedeutung (Andersson und Milberg, 1998).

Für einige Regionen wie die Geeststandorte im Weser-Ems-Gebiet Niedersachsens stellt dies ein erhebliches Problem dar. Dort werden die meisten Ackerflächen im Laufe der Jahre mit lediglich ein bis zwei unterschiedliche Kulturen bestellt. Die dominierende Frucht ist der Mais (Steinmann und Dobers, 2013). Ein Anbau von Blattfrüchten findet hingegen ebenso wenig statt wie der Anbau von Wintergetreide (Stein und Steinmann, 2018). Die Folge dieser Bewirtschaftung ist die Selektion einzelner schwer zu bekämpfender Unkrautarten (Mehrtens et al., 2005).

Steigenden Dichten solcher Arten mit wiederholten Herbizideinsätzen zu begegnen, wird als ein großes Risiko für die Entwicklung von Herbizidresistenz angesehen (Zwerger et al., 2017).

Verschiedene Ergebnisse belegen, dass durch Zwischenfrüchte bzw. Untersaaten die Unkrautvegetation reduziert werden kann (Cutti et al., 2016; Harker, 2013; Klingenhausen, 2019). Die meisten Versuche zur Unkrautunterdrückung im wiederholten Maisanbau wurden mit Zwischenfrüchten durchgeführt (Dorn et al., 2015; Kruidhof et al., 2009; Nelson et al., 1991). Im Weser-Ems Gebiet ist der Anbau von Zwischenfrüchten in einigen Jahren aufgrund einer späten Maisernte oder einer witterungsbedingt schlechten Befahrbarkeit der Flächen nicht möglich. Die Aussaat von Untersaaten wird hingegen aufgrund der höheren Kosten, der Sorge um Ertragsverluste und der notwendigen Anpassung der Herbizidmaßnahmen nur begrenzt angewendet.

Aus dem ökologischen Anbau sind bereits zahlreiche Untersuchungen vorhanden, die die Beeinflussung der Unkrautvegetation durch die Ausbringung einer Untersaat belegen (Fischer und Böhm, 2016; Hartwig und Ammon, 2002; Liebman und Dyck, 1993). Eine völlige Unkrautfreiheit ist mit dem Verfahren jedoch nicht zu erwarten (Heyland und Merkelbach, 1985). Dies liegt unter anderem daran, dass der Einfluss der Untersaat auf die einzelnen Unkrautarten unterschiedlich hoch ist (Fischer und Böhm, 2016).

Durch die Aussaat einer Untersaat wird dabei eine „Fruchtfolge“ Mais-Gras im Anbaujahr erzeugt, die zu einer besseren Kontrolle der Unkrautvegetation beiträgt. Das Verfahren ist zwar nicht gleichwertig zum Anbau von Mais in Fruchtfolgen, bringt aber eine kleine agronomische Vielfalt in das Anbausystem.

Für konventionell wirtschaftende Betriebe erlaubt der Anbau von Silomais mit Grasuntersaaten den Einsatz von Herbiziden gegen zweikeimblättrige Unkräuter. Wir nehmen an, dass diese Kombination dabei mithilft, Unkräuter im konventionellen Maisanbau zu begrenzen. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden im Jahr 2017 im Landkreis Leer neun Versuche zur Unkrautbekämpfung angelegt. Gegenstand der Untersuchung ist der Einfluss einer Kombination von chemischem Pflanzenschutz und Grasuntersaaten auf die Unkrautvegetation im langjährigen Maisanbau. In den ersten beiden Versuchsjahren folgte einem ungewöhnlich niederschlagsreichen Jahr 2017 ein äußerst trockenes Jahr 2018. Diese Bedingungen ermöglichen es, den Einfluss unterschiedlicher Witterungsbedingungen auf die unkrautunterdrückende Wirkung von Grasuntersaaten in Kombination mit einer daran angepassten chemischen Unkrautbekämpfung zu überprüfen.

3.4 Material und Methoden

3.4.1 Standorte

Die Versuche wurden auf konventionell bewirtschafteten Ackerflächen im Landkreis Leer durchgeführt (Fig. 3). Die Schläge hatten eine Mindestgröße von einem Hektar.

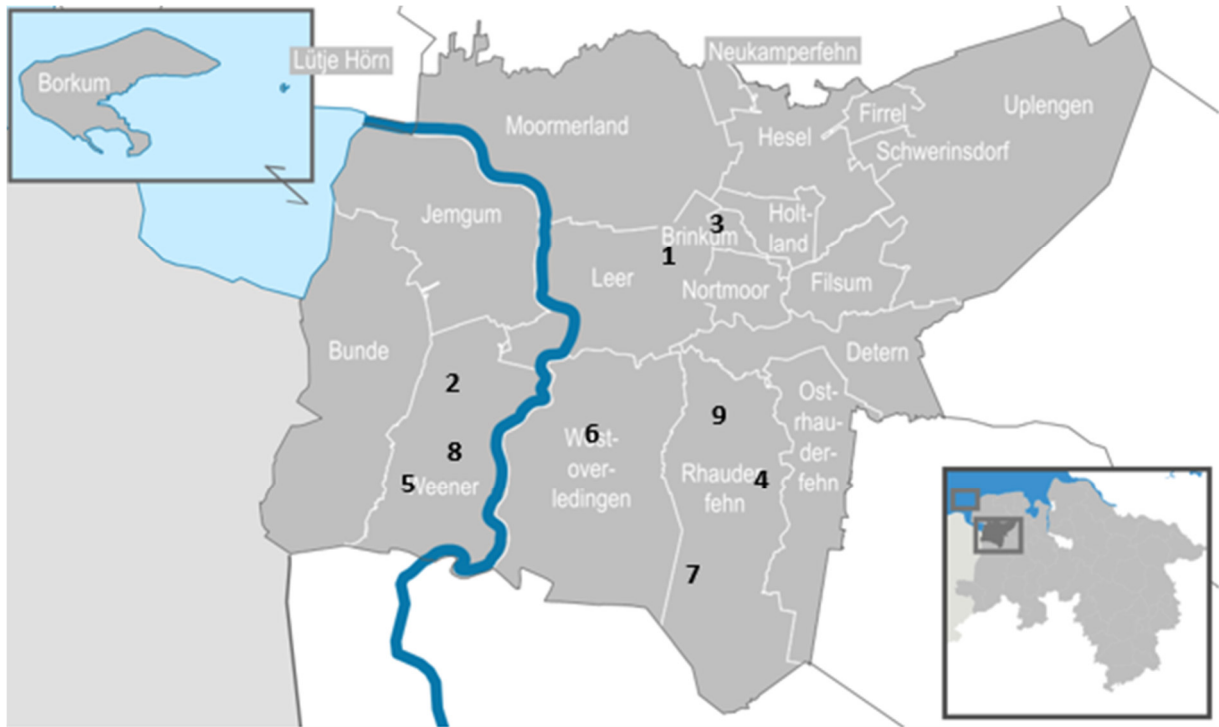


Fig. 3: Lage der Versuchsstandorte im Landkreis Leer, so wie ein Ausschnitt der Lage des Landkreis Leer in Niedersachsen. Die Versuchsstandorte sind numerisch gekennzeichnet (1 bis 9).

Auf diesen Schlägen wurde in den letzten fünf Jahren vor Versuchsbeginn Silomais angebaut. Dadurch wurde eine für den Maisanbau typische Verunkrautung zu Versuchsbeginn sichergestellt (Wienberg et al., 2018).

Die Bodentypen der Versuchsflächen sind laut amtlicher Bodenschätzung als Gley, Pseudogley, Podsol, Erdhochmoor und Plaggenesch eingestuft (LBEG, 2019). Für alle Schläge lagen aktuelle Standardanalysen der LUFA NORDWEST zu den Nährstoffgehalten vor. Diese stuften sieben der neun Schläge als Sandböden ein, eine als schluffigen Lehm und eine als Tonboden. Die Humusgehalte wurden bei sechs Schlägen als schwachhumos (<4 % Humusgehalt), bei zwei Schlägen als humos (4,1 bis 8 % Humusgehalt) und bei einem Schlag als stark humos (8,1 bis 15 % Humusgehalt) bewertet.

3.4.2 Wetterdaten

Die Vegetationsperioden 2017 und 2018 hatten sehr gegensätzliche Witterungsverläufe. Während das Jahr 2017 durch hohe Niederschlagsmengen geprägt war, kam es im Jahr 2018 zu einer langen Trockenperiode, die vor allem in der Hauptwachstumsphase des Mais in Erscheinung trat. Die Jahresniederschlagsmengen mit 940 mm im Jahr 2017 und 600 mm im Jahr 2018 wichen in beiden Jahren deutlich vom langjährigen Mittel mit 822 mm ab.

Fig. 4 zeigt die Mittelwerte der monatlichen Niederschlagsmengen und Temperaturen der Wetterstation Emden des Deutschen Wetterdienstes für die Jahre 2017 und 2018 vom 1. April bis 31. Oktober des Jahres. In diesem Zeitraum findet im Weser-Ems-Gebiet üblicherweise der Anbau von Silomais statt. Im Jahr 2017 lagen die Tagesmitteltemperaturen in diesem Zeitraum ca. 5 % über denen des langjährigen Mittels der Jahre 1991 bis 2010, während im Jahr 2018 die Werte 13 % über dem langjährigen Mittel lagen. Extremer waren die Abweichungen im Bereich der Niederschläge. In 2018 wurde der mittlere Wert um 50 % unterschritten, während in 2017 in den Monaten April bis Oktober 16 % mehr Niederschlag fiel, als im langjährigen Mittel.

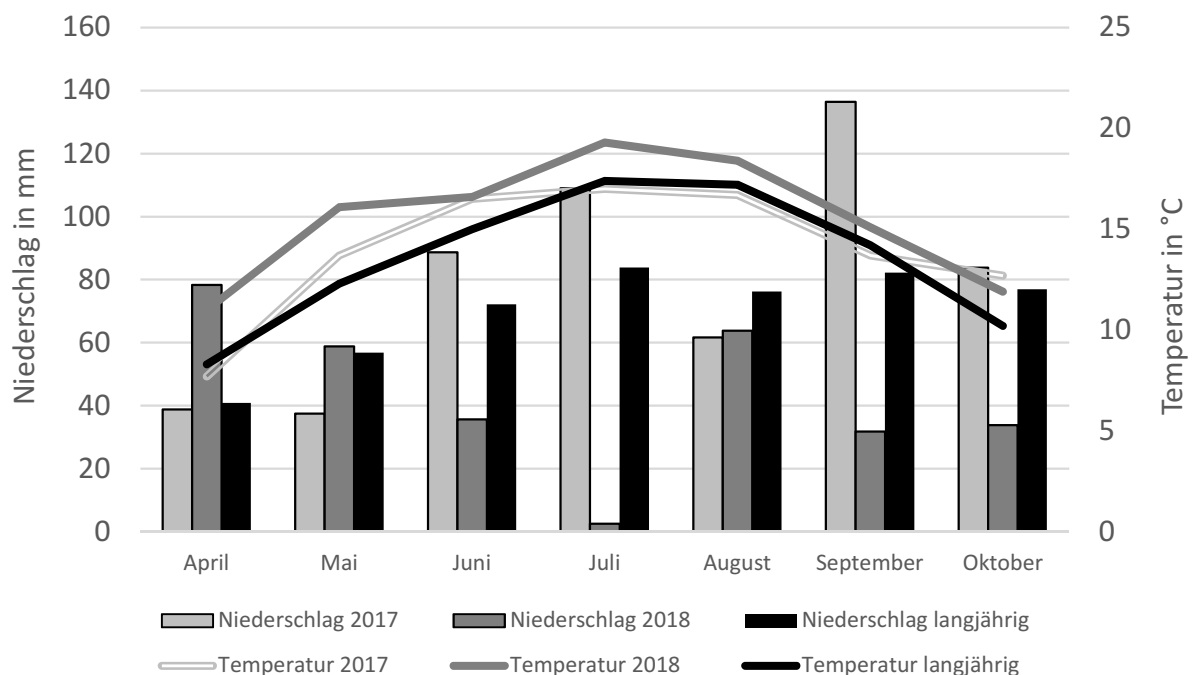


Fig. 4: Niederschlags- und Temperaturdaten der Wetterstation Emden des Deutschen Wetterdienstes für die Monate April bis Oktober der Jahre 2017 und 2018, sowie das langjährige Mittel.

3.4.3 Maisanbau

In beiden Jahren wurde an allen Standorten zur Vorbereitung des Saatbettes gepflügt. Die Flächenvorbereitung und die Maisaussaat wurden durch den Bewirtschafter bzw. das vom Bewirtschafter beauftragte Lohnunternehmen durchgeführt. Die Höhe des Düngebedarfs wurde anhand des Düngeplanungsprogrammes GISP der Landwirtschaftskammer Niedersachsen bestimmt. Die Auswahl der Dünger, des Saatgutes usw. wurde betriebstypisch umgesetzt. An allen Standorten erfolgte eine organische Düngung mittels Rindergülle sowie eine mineralische Unterfußdüngung.

Stark humose Böden erwärmen sich langsamer als sandige Böden. Die Aussaattermine des Silomais mussten daher an die Bodeneigenschaften der einzelnen Versuchsstandorte angepasst werden. Die Aussaat des Silomais erfolgte im Jahr 2017 an den verschiedenen Standorten im Zeitraum 28. April bis 13. Mai, im Jahr 2018 zwischen dem 3. Mai und dem 12. Mai. An jedem Standort unterschied sich der Aussaattermin zwischen den beiden Jahren witterungsbedingt um maximal fünf Tage. Der Reihenabstand beim Maisanbau betrug auf allen Flächen einheitlich 75 cm.

3.4.4 Anlage der Versuchspartzen

Im Zeitraum ein bis drei Tage nach dem Maislegen wurden die Versuchspartzen eingemessen. An jedem Standort wurden die gleichen drei Versuchsglieder mit jeweils drei Wiederholungen randomisiert in einem lateinischen Quadrat angelegt. Jede Versuchspartze hatte eine Grundfläche von 7 x 7 m, was bei einem Maisanbau mit einem Reihenabstand von 75 cm neun Maisreihen pro Partze bedeutet. Bei der erstmaligen Anlage der Versuchspartzen im Jahr 2017 wurde durch die Aufnahme von Bodenprofilen sichergestellt, dass homogene Bodenbedingungen in den Flächen vorhanden waren. Zudem wurde ein Mindestabstand von 18 m zum Flächenrand eingehalten, um Randeffekte auszuschließen. Da an zwei Versuchsstandorten kein stabiles Funknetz vorhanden war, wurden die Partzen im zweiten Versuchsjahr mit Hilfe des sogenannten Polarverfahrens wieder eingemessen.

3.4.5 Versuchsglieder

Es wurden drei Varianten getestet, in denen der Mais ohne Untersaat oder mit zwei verschiedenen Gräserarten als Untersaat angebaut wurde. Die beiden Versuchsglieder mit Untersaat unterschieden sich in ihren Anforderungen an den Aussaatzeitpunkt und den Herbizideinsatz.

Bei der *Lolium* spp. (= *Weidelgras*) Untersaat konnte aufgrund der späteren Aussaat zum fünf bis sechs Blattstadium des Silomais (BBCH 15 bis 16) noch ein Einsatz von Herbiziden gegen einkeimblättrige Unkräuter durchgeführt werden. Bei der *Festuca rubra* (= *Rotschwingel*) Untersaat war dies aufgrund der frühen Aussaat (ein bis drei Tage nach dem Maislegen) nicht mehr möglich. Die Herbizidmaßnahmen wurden in beiden Jahren an allen Standorten zum Zeitpunkt des 3 bis 4 Blattstadium des Mais (BBCH 13 bis 14) durchgeführt. In Tabelle 5 sind die in den Versuchsgliedern eingesetzten Herbizide, deren Wirkstoffe, die ausgebrachten Aufwandmengen, so wie die verwendeten Gräser mit ihrer Aussaatstärke aufgeführt.

Tab. 5: In den Versuchsgliedern eingesetzte Herbizide mit Wirkstoffen und Aufwandmengen, ausgebrachte Gräser mit Aussaatstärke

Versuchsglied	Wirkstoffe, Handelsnamen, Aufwand	Gräser	Saatstärke
'Festuca spp.' Untersaat	Mesotrione (Callisto; 1,0 l/ha)	90 % <i>F. rubra</i>	5 kg/ha
	Thifensulfuron Methyl (Harmony SX; 20 g/ha)	10 % <i>F. ovina</i>	
'Lolium spp.' Untersaat	Mesotrione (Callisto; 1,0 l/ha)	50 % <i>L. multigl.</i>	15 kg/ha
	Bromoxynil (B235; 0,3 l/ha)	50 % <i>L. perenne</i>	
	Rimsulfuron (Cato; 25 g/ha)		
'ohne Untersaat'	Terbuthylazin + Mesotrione (Callaris; 1,2 l/ha)		
	S-Metolachlor (Dual Gold; 1,0 l/ha)		
	Prosulfuron (PEAK; 20 g/ha)	-	-
	Rimsulfuron (Cato; 25 g/ha)		

Die Herbizide wurden mit einer Druckspeicherspritze ausgebracht. Es handelt sich hierbei um eine Rückenspritze mit zwei jeweils 3 l großen Tanks, deren Spritzdruck während der Applikation über eine Pressluftflasche auf konstant 2 bar eingestellt wurde. Zur Applikation wurde ein Spritzbalken mit einer Breite von 1,5 m verwendet, an dem sich sechs Flachstrahldüsen der Firma Lechler im Abstand von jeweils 30 cm befanden. Der Druckbereich dieser Düsen liegt zwischen 1,5 bis 5 bar. Im unteren Druckbereich wird auf diese Weise ein grobes bis mitteltropfiges Spektrum erzeugt, welches die Gefahr der Abdrift minimiert. Die vier mittleren Düsen hatten einen Spritzwinkel von 120°, die beiden Randdüsen hatten einen Spritzwinkel von 90°, so dass der Applikationsbereich mit dem Ende des Spritzbalkens ebenfalls endete.

3.4.6 Daten zu Unkräutern und Untersaaten

Die Unkrautdaten wurden mit einem Göttinger Zähl- und Schätzrahmen erfasst. Dieser umgrenzt eine Fläche von 0,1 m². Pro Versuchsparzelle wurden zu jedem Termin neun Messwertwiederholungen erhoben. Hierzu wurde jede Parzelle in einer Diagonale durchschritten. Folgende Daten wurden erfasst:

- Bedeckung des Bodens in Prozent
- Dichte jeder Unkrautart (Anzahl/m²)
- Anteil der einzelnen Unkräuter an der Bedeckung des Bodens in Prozent
- Deckungsgrad der Untersaat in Prozent

Bei jeder Erhebung wurde ein Teil des Bodens von Unkräutern bedeckt und ein weiterer Teil von den ausgesäten Untersaaten. Es wurde daher zunächst der Deckungsgrad aller Pflanzen geschätzt und anschließend der Deckungsgrad der Untersaaten. Der Unkrautdeckungsgrad ergibt sich durch Subtraktion. An folgenden Terminen wurde die Verunkrautung erfasst:

1. „Aussaat“: Die erste Erhebung erfolgte parallel zur Aussaat der *Festuca rubra* Gräser. Dieser Zeitpunkt war ein bis drei Tage nach dem Maislegen erreicht.
2. „vor Herbizid“: Die zweite Zählung der Unkräuter wurde ca. drei Wochen nach der Aussaat unmittelbar vor der Herbizidbehandlung im BBCH Stadium 13 bis 14 des Silomais durchgeführt.
3. „nach Herbizid“: Die dritte Erfassung der Verunkrautung wurde zum Zeitpunkt der Aussaat der *Lolium* spp. Gräser durchgeführt. Diese erfolgte ca. 10 Tage nach der Herbizidbehandlung. Der Mais hatte zu diesem Zeitpunkt das BBCH Stadium 15 bis 16 erreicht.
4. „nach Ernte“: Der vierte Termin war zum Zeitpunkt 40 Tage nach der Maisernte.
5. „vor Pflug“: Die abschließende Unkrautzählung fand im März des Folgejahres vor dem Beginn der Flächenvorbereitung für die Folgekultur statt.

3.4.7 Daten zum Maisbestand

In jeder Versuchsparzelle wurde in der dritten, fünften und siebten Reihe des Silomais ein Abschnitt (1 m) einer Maisreihe markiert. Der Abschnitt umfasste je nach Auflauf zwischen fünf und acht Pflanzen. In diesen markierten Maisreihen wurde das Wachstum der Maispflanzen bis zum 8-Blattstadium erfasst.

Die Versuchsparzellen wurden ca. 14 Tage vor der maschinellen Ernte der Restfläche beerntet. Hierfür wurden in jeder Parzelle die drei markierten Maisreihen verwendet. Der Erntezeitraum lag im Jahr 2017 zwischen dem 28. September und dem 19. Oktober, im Jahr 2018 im Zeitraum zwischen dem 7. September und dem 24. September. Die Maispflanzen wurden mit einer Asterschere unmittelbar oberhalb der Erdoberfläche abgeschnitten und die Pflanzen vor Ort gewogen. Pro Parzelle wurden sechs Pflanzen (zwei pro geernteter Maisreihe) für die Bestimmung der Trockensubstanzgehalte (TS) verwendet.

Zur Bestimmung der TS-Gehalte wurden die Pflanzen in einem ersten Schritt mit einem 400 Volt Gartenhäcksler zerkleinert. Aus den sechs Pflanzen einer Parzelle wurde dabei eine Mischprobe erstellt. Anschließend wurde eine repräsentative Probe von 1500 g aus der Erntemenge entnommen. Im Anschluss folgte eine Trocknung im Trockenschrank bei 110 °C bis zur Gewichtskonstanz.

3.4.8 Statistische Auswertung

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm R Statistik Version 3.6.1 (The R Foundation, 2019). Die Messwertwiederholungen in den Parzellen wurden zusammengefasst. Nicht-normalverteilte Merkmale zu einzelnen Unkrautarten werden in Box-Plots dargestellt. Normalverteilte Merkmale (Gesamtunkrautdichten, Deckungsgrad Untersaaten und Maiserträge) wurden varianzanalytisch ausgewertet. Mittelwertvergleiche zwischen den Versuchsgliedern wurden mit dem Tukey's Test ($P < 0,05$) durchgeführt. Hierfür wurde das R-Paket „agricolae“ verwendet.

3.5 Ergebnisse

3.5.1 Unkrautarten und Dichten

In den beiden Versuchsjahren traten unterschiedlich viele Unkrautarten auf (=Gesamtartenzahl). Im niederschlagsreichen Jahr 2017 wurden im Jahresverlauf 21 verschiedene Unkrautarten gezählt, von denen vier einkeimblättrige Arten waren. Im trockenen Jahr 2018 traten 24 Arten auf, von denen ebenfalls vier einkeimblättrig waren. Im Jahr 2017 betrug die mittlere Anzahl an Unkrautarten je Standort 8,55, während sie im trockenen Jahr 2018 auf 10,9 je Standort anstieg. Die fünf häufigsten Unkrautarten waren *Chenopodium album* (= Weißer Gänsefuß), *Echinochloa crus-galli* (= Hühnerhirse), *Poa annua* (= jährige Rispe), *Solanum nigrum* (= Schwarzer Nachtschatten) und *Stellaria media* (= Vogelmiere). Im Jahr 2017 gehörten zum Zeitpunkt der Herbizidanwendung ca. 82 % der gezählten Unkräuter zu den fünf häufigsten Unkrautarten, im Jahr 2018 waren dies sogar 90 %. *Gnaphalium uliginosum* (= Sumpf-Ruhrkraut) trat nur im Jahr 2017 auf, *Cardamine hirsuta* (= Behaartes Schaumkraut), *Polygonum persicaria* (= Floh-Knöterich), *Senecio vulgaris* (= Gewöhnliches Kreuzkraut) und *Urtica urens* (= Kleine Brennnessel) waren ausschließlich im Jahr 2018 vorzufinden.

Das Auftreten der einzelnen Unkrautarten wurde in den beiden Versuchsjahren erheblich von den Versuchsstandorten und der Witterung beeinflusst. In Abbildung 5 sind die mittleren Unkrautdichten für die fünf Leitunkräuter getrennt nach Jahren dargestellt. Die Dichten zeigten sowohl zwischen den Jahren, als auch innerhalb eines Jahres eine beachtliche Streuung.

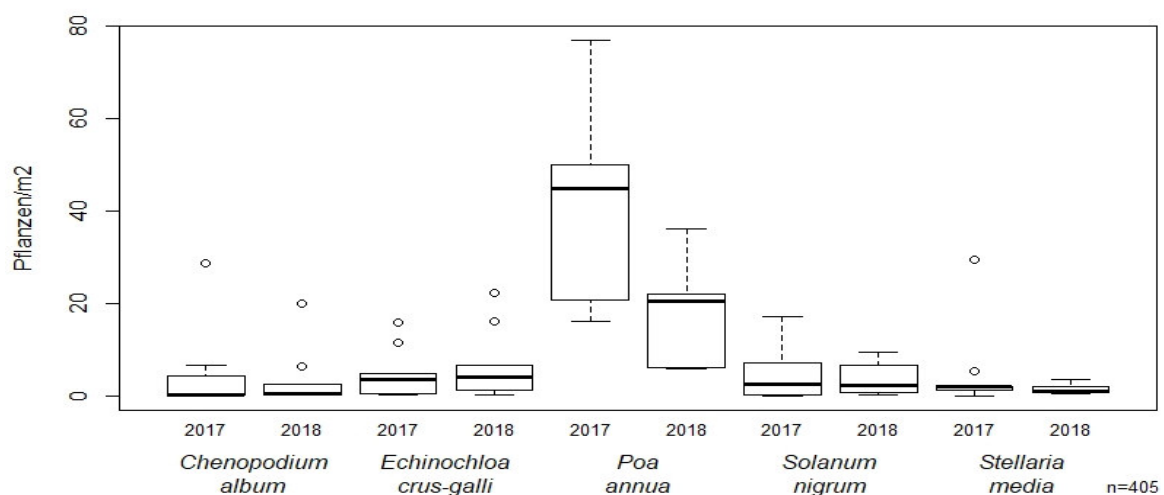


Fig. 5: Unkrautdichten der fünf Leitunkräuter, Boxplots, Daten für die Jahre 2017 und 2018, alle Standorte, Versuchsglieder und Termine, angegeben sind der Mittelwert, das obere und untere Quantil n=405.

Die Auswirkung der Witterung war auf die einzelnen Unkrautarten unterschiedlich. So waren die Unkrautdichten für *Chenopodium album*, *Poa annua* und *Stellaria media* im trockenen Jahr 2018 geringer. *Solanum nigrum* trat in 2018 in gleich hohen Dichten auf und das einjährige Unkraut *Echinochloa crus-galli* konnte im Vergleich zum niederschlagsreichen Jahr 2017 sogar noch von den trockeneren Witterungsbedingungen des Jahres 2018 profitieren. Dieses Ergebnis zu den Jahresunterschieden trat bei *Poa annua* unabhängig vom Standort auf allen Flächen. Die Dichten von *Echinochloa crus-galli* waren mit Ausnahme von Standort 3 an allen Standorten im Jahr 2018 höher, als im Jahr 2017. (Fig. 6).

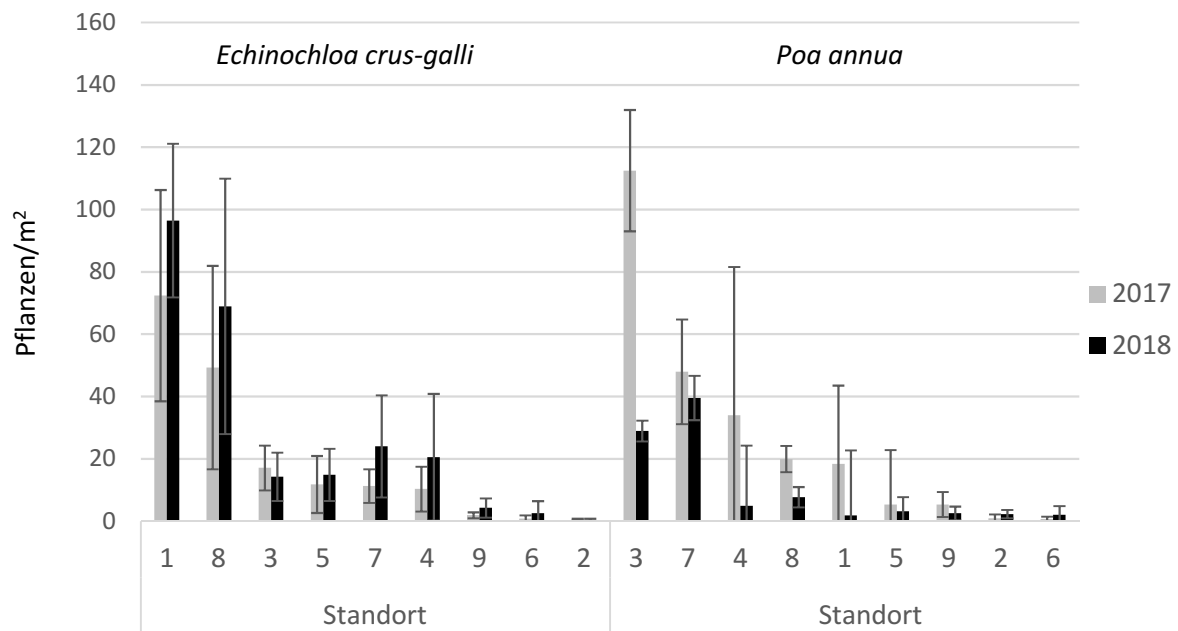


Fig. 6: Dichten von *Echinochloa crus-galli* und *Poa annua* an den 9 Versuchsstandorten zum Zeitpunkt „vor Herbizid“ für die Jahre 2017 und 2018, alle Versuchsglieder pro Standort, Mittelwerte \pm Standardabweichung, n= 9

Die Gesamtunkrautdichten unterschieden sich für die beiden Versuchsjahre signifikant. Die mittlere Dichte lag über den Zeitraum „Aussaat“ bis „vor Pflug“ im regenreichen Jahr 2017 mit 46 Pflanzen/m² signifikant höher als im trockenen Jahr 2018 im gleichen Zeitraum mit 30 Pflanzen/m². Der Verlauf der Unkrautdichten war im Versuchszeitraum der beiden Jahre ähnlich. Dennoch traten zu allen vergleichbaren Terminen der Unkrauterfassung signifikante Unterschiede auf (Fig. 7). Dabei war die Unkrautdichte an jedem Termin im Jahr 2018 signifikant geringer, als zum vergleichbaren Termin im Jahr 2017. Die einzige Ausnahme hiervon stellte der Termin „Aussaat“ dar. Zu diesem Zeitpunkt gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren.

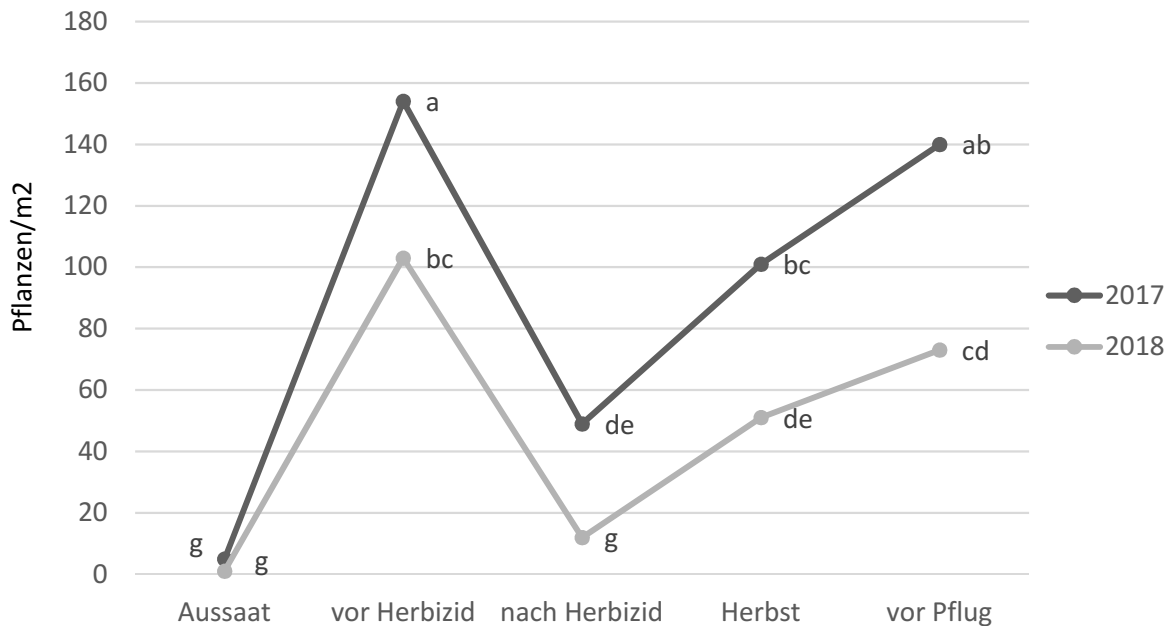


Fig. 7: Unkrautdichten zu den fünf Terminen der Unkrauterfassungen in den Jahren 2017 und 2018, Mittelwerte aller Standorte und Versuchsglieder, n= 81. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Terminen (Tukey Test, $P < 0,05$)

3.5.2 Entwicklung der Unkrautdeckungsgrade

In Abbildung 8 wird die Entwicklung der Unkrautdeckungsgrade im zeitlichen Verlauf getrennt nach Versuchsgliedern dargestellt. In beiden Jahren unterschieden sich die Unkrautdeckungsgrade zwischen den Versuchsgliedern bis zum Termin „nach Herbizid“ kaum. Im regenreichen Jahr 2017 stieg dann der Unkrautdeckungsgrad im Versuchsglied 'ohne Untersaat' bis zum Termin „nach Ernte“ deutlich an und lag 6 % bzw. 10 % höher als in den Versuchsgliedern 'Festuca rubra' Untersaat und 'Lolium spp. Untersaat'. Dieser Trend verstärkte sich über die Wintermonate, so dass zum Ende des ersten Versuchsjahres am Termin „vor Pflug“ die Unkrautdeckungsgrade der Versuchsglieder 'Festuca rubra' Untersaat und 'Lolium spp. Untersaat' ca. 15 % geringer waren, als die im Versuchsglied 'ohne Untersaat'. Die Unkrautdeckungsgrade der beiden Versuchsglieder 'Festuca rubra' Untersaat und 'Lolium spp. Untersaat' unterschieden sich zu diesem Termin hingegen kaum.

Im trockenen Jahr 2018 bot sich dann ein völlig anderes Bild. Die Unkrautdeckungsgrade der Versuchsglieder 'ohne Untersaat' und 'Festuca rubra' Untersaat blieben während des gesamten Versuchsjahres nahezu identisch. Lediglich im Versuchsglied 'Lolium spp. Untersaat' wurde eine Reduktion des Unkrautdeckungsgrades im Vergleich zum Versuchsglied 'ohne Untersaat' erzielt. Diese fiel im Vergleich zum Versuchsjahr 2017 mit ca. 5 % jedoch erheblich geringer aus.

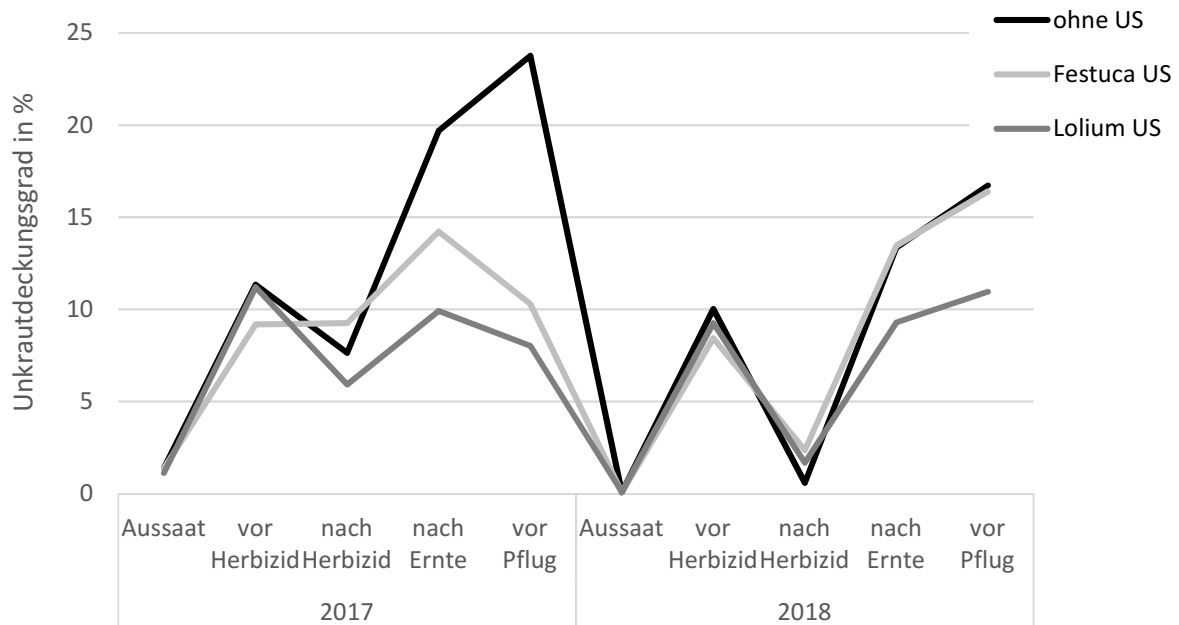


Fig. 8: Unkrautdeckungsgrad in den Versuchsgliedern zu den einzelnen Terminen der Unkrauterfassung in den Jahren 2017 und 2018, Mittelwerte der Standorte, n= 27. (ohne US = ohne Untersaat, Festuca US = *Festuca rubra* Untersaat, Lolium US = *Lolium* spp. Untersaat)

3.5.3 Deckungsgrad Untersaaten

Der größte Zuwachs der Untersaaten erfolgte nach der Maisernte zwischen den Terminen „Herbst“ und „vor Pflug“. Vergleicht man die mittleren Deckungsgrade der Untersaaten zu diesen Terminen, so zeigt sich, dass der Einfluss der Witterung im trockenen Jahr 2018 auf die Grasarten unterschiedlich hoch war (Fig. 9).



Fig. 9: *Lolium* spp. Untersaat (links) und *Festuca rubra* Untersaat (rechts) am Standort 4, Termin vor Pflug 2018

Der Deckungsgrad der *Festuca rubra* Untersaat war im trockenen Jahr 2018 zum Termin „vor Pflug“ signifikant niedriger im Vergleich zur *Lolium* spp. Untersaat (Fig. 10). Im regenreichen

Jahr 2017 waren die Deckungsgrade der beiden Untersaaten zu diesem Termin statistisch nicht unterscheidbar.

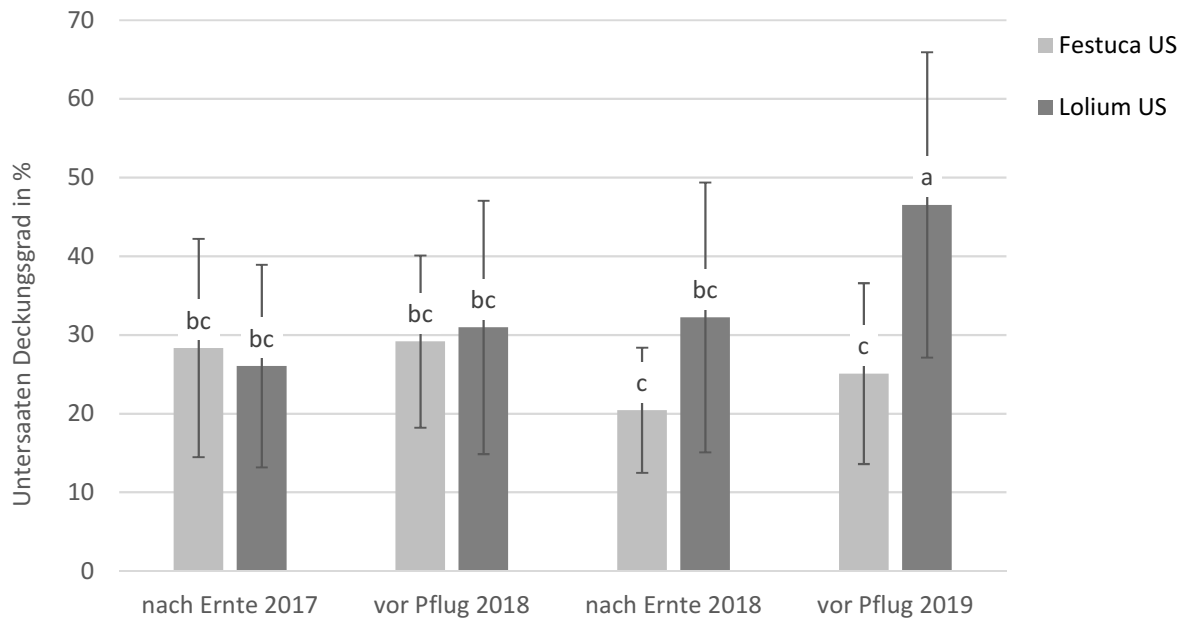


Fig. 10: Deckungsgrad der Untersaaten in den Versuchsgliedern an zwei Terminen in den Jahren 2017 und 2018, Mittelwert \pm Standardabweichung, alle Standorte, $n = 27$. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern (Tukey Test, $P < 0,05$). (Festuca US = *Festuca rubra* Untersaat, Lolium US = *Lolium* spp. Untersaat)

3.5.4 Maiserträge

Die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der beiden Jahre wirkten sich auch auf die Erträge des Silomais aus. So waren im niederschlagsreichen Sommer 2017 die erzielten Trockenmasseerträge signifikant höher (im Mittel 20,88 t/ha) als im trockenen Jahr 2018 (19,08 t/ha). Auch zwischen den Versuchsgliedern traten Unterschiede auf, die innerhalb eines Versuchsjahres jedoch nicht signifikant waren (Fig. 11). Die erzielten Trockenmasseerträge waren in beiden Jahren im Versuchsglied '*Lolium* spp. Untersaat' am höchsten.

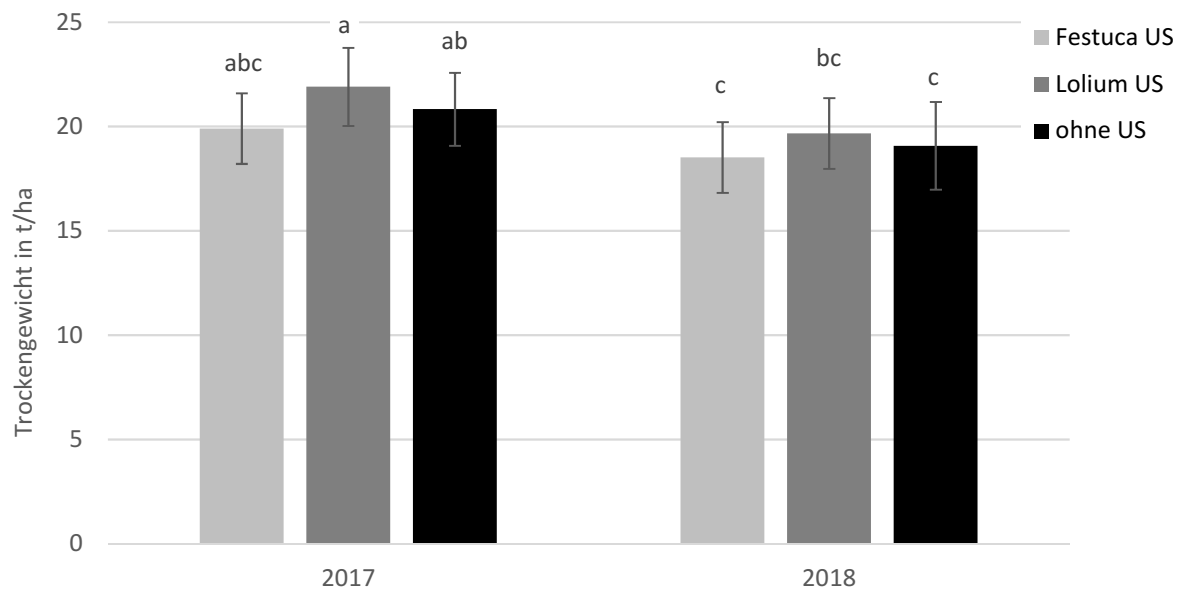


Fig. 11: Maisertrag zum Zeitpunkt der Ernte in den Versuchsgliedern in den Jahren 2017 und 2018, Trockengewicht Mittelwert \pm Standardabweichung $n=27$. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen (Tukey Test, $P < 0,05$). (ohne US = ohne Untersaat, Festuca US = *Festuca rubra* Untersaat, Lolium US = *Lolium* spp. Untersaat)

Da die Versuchsglieder zeitgleich beerntet wurden, sind für die Bewertung der erzielten Erträge neben den Trockenmasseerträgen die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt der Ernte von Bedeutung. Diese unterschieden sich im regenreichen Jahr 2017 nicht. Im trockenen Jahr 2018 waren die Trockensubstanzgehalte in den beiden Versuchsgliedern '*Festuca rubra*' Untersaat und '*Lolium* spp. Untersaat' höher, als im Versuchsglied 'ohne Untersaat' (Tab. 6). Der Silomais war in den Versuchsgliedern '*Festuca rubra*' Untersaat und '*Lolium* spp. Untersaat' somit früher erntereif als im Versuchsglied 'ohne Untersaat'.

Tab. 6: Mais Trockensubstanzgehalte (%) in den Versuchsgliedern zum Zeitpunkt der Ernte in den Jahren 2017 und 2018, $n=27$.

Jahr/Versuchsglied	' <i>Festuca rubra</i> '	' <i>Lolium</i> spp.' Untersaat	'ohne Untersaat'
2017	28,61	28,51	28,59
2018	35,04	34,10	32,53

3.6 Diskussion

3.6.1 Unkrautarten und Unkrautdeckungsgrad

Die Anzahl der auftretenden Unkrautarten, die Unkrautdichte und der Unkrautdeckungsgrad wurden in diesen Versuchen stark durch die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der Jahre 2017 und 2018 beeinflusst. So nahm die Anzahl der auftretenden Unkrautarten im Jahr 2018 im Mittel um 2,5 zu. Im Maisanbau treten vorwiegend wärmeliebende Arten auf. Diese profitierten von den höheren Temperaturen im Jahr 2018. So betrug die Tagesmitteltemperatur im Jahr 2017 im Monat April bei 8,3°C, während sie im selben Monat 2018 bei 11,0°C lag. Dies setzte sich im Mai fort. Im Jahr 2017 betrug die Tagesmitteltemperatur bei 13,7°C, während sie im gleichen Monat 2018 bei 16,1°C lag.

Vergleichbare Ergebnisse wurden bereits unter kontinentalen Klimabedingungen Ungarns erzielt (Pinke et al., 2012). Dort zeigte sich, dass Temperaturveränderungen den zweitgrößten Einfluss auf die Unkrautvegetation haben. Lediglich die geographische Lage der Fläche hatte eine noch größere Bedeutung. Die Beobachtung von Teasdale et al. (2018), dass der Unkrautdeckungsgrad in niederschlagsreichen Jahren signifikant höher ist, bestätigte sich auch in unseren Versuchsergebnissen.

Die aufgetretenen Leitunkräuter *Chenopodium album*, *Solanum nigrum*, *Poa annua*, *Echinochloa crus-galli* und *Stellaria media* sind nach den Ergebnissen der deutschlandweiten Monitorings typisch für einen mehrjährigen, wiederholten Anbau von Silomais. Deutschlandweite Monitorings zur Unkrautvegetation im Maisanbau belegen eine starke Abhängigkeit der auftretenden Unkrautarten vom Anbau und der Fruchtfolge (Mehrtens et al., 2005; Mol et al., 2012). Die Ergebnisse zeigten, dass mit steigendem Anteil von Mais in der Fruchtfolge *Echinochloa crus-galli* und *Solanum nigrum* gefördert werden.

Durch die unterschiedliche Witterung der beiden Jahre wurde die Zusammensetzung der Unkrautvegetation beeinflusst. So wurde die Unkrautdichte für die drei Leitunkräuter *Chenopodium album*, *Poa annua* und *Stellaria media* durch die Trockenheit reduziert. Das Auftreten von *Echinochloa crus-galli* wurde hingegen unter diesen Bedingungen gefördert.

Unterschiedliche Klimaansprüche der einzelnen Unkrautarten verursachen dieses unterschiedliche Auftreten bei veränderten Witterungsbedingungen. So zeigen Untersuchungen zu *Chenopodium album*, dass diese Unkrautart durch Niederschläge unmittelbar nach der Aussaat gefördert wird (Redwitz und Gerowitt, 2014). Ähnliche Ergebnisse sind auch für

Stellaria media bekannt. Bei dieser Unkrautart wurde eine große Abhängigkeit der Keimung von den Faktoren Temperatur und Feuchtigkeit nachgewiesen (Grundy et al., 2000). Abweichungen vom Optimum durch z. B. Trockenheit führen zu einem starken Rückgang der Keimung.

Als unempfindlicher auf veränderte Witterungsbedingungen zeigte sich in unseren Ergebnissen das Leitunkraut *Solanum nigrum*. Diese Unkrautart trat in beiden Jahren trotz der starken Unterschiede in der Witterung in gleichgroßen Dichten auf.

Am besten ist das einjährige Gras *Echinochloa crus-galli* an die trockenen und warmen Bedingungen des Jahres 2018 angepasst. *Echinochloa crus-galli* profitierte von den trockenen und warmen Witterungsbedingungen, die Dichten dieser Unkrautart nahmen unter den Bedingungen des Jahres 2018 sogar noch zu. Eine hohe Anpassungsfähigkeit von *Echinochloa crus-galli* an unterschiedliche Wachstumsbedingungen wie Licht, Bodenart, Temperatur und Bodenfeuchte wurde bereits festgestellt (Bajwa et al., 2015).

Diese unterschiedliche Anpassungsfähigkeit der einzelnen Unkrautarten an wechselnde Witterungsbedingungen bringt unter dem Aspekt des Klimawandels Konsequenzen für die Zukunft mit sich. In Zukunft muss in Nordwestdeutschland auf Ackerflächen mit langjährigem Anbau von Silomais mit einer verstärkten Ausbreitung von Hirsearten gerechnet werden. Dies wird eine Anpassung der Herbizid- und Bekämpfungsstrategien erfordern.

3.6.2 Untersaaten und Herbizideinsatz

Insgesamt war der Einfluss des trockenen Jahres 2018 auf die Deckungsgrade der Untersaaten von *Festuca rubra* höher als auf die *Lolium* spp. Untersaaten. Durch das Versuchsglied der 'Lolium spp. Untersaat' wurde der Unkrautdeckungsgrad in beiden Jahren bis zum Ende des Anbaujahres im Vergleich zum Versuchsglied 'ohne Untersaat' reduziert. Beim Versuchsglied mit der 'Festuca rubra' Untersaat wurde dieser Effekt nur im regenreichen Jahr 2017 erzielt. Dies liegt vor allem am unterschiedlichen Aussaatzeitpunkt der beiden Untersaaten. Die Pflanzen von *Festuca rubra* waren zum Zeitpunkt der Aussaat der *Lolium* spp. Untersaat bereits gekeimt und erzielten Deckungsgrade von im Mittel 15%. Die Sommertrockenheit in den Monaten Juni und Juli wirkte sich direkt auf die aufgelaufenen *Festuca rubra* Gräser aus und verursachte Trockenschäden. Die *Lolium* spp. Gräser keimten hingegen in der Phase der Trockenheit Mitte Juni nicht mehr, sondern begannen erst mit den im August wiedereinsetzenden Niederschlägen zu keimen und zu wachsen. Der Schaden an der *Lolium* spp. Untersaat war geringer.

Wir führen dies auf eine geringere Anfälligkeit des Saatgutes für Trockenschäden zurück. Die *Lolium* spp. Untersaaten erzielten im Jahr 2018 zum Termin „nach Ernte“ einen höheren Deckungsgrad von im Mittel ca. 7 % im Vergleich zum Vorjahr. Der Deckungsgrad der *Festuca* Untersaaten war hingegen im Mittel ca. 6 % niedriger. Die *Lolium* spp. Gräser profitierten im Jahr 2018 zusätzlich von dem frühen Erntetermin des Silomais und dem milden Winter, so dass die Untersaaten zum Ende des Anbaujahres am Termin „vor Pflug“ die höchsten Deckungsgrade erzielten.

Eine Anpassung der Herbizidstrategie an die ausgesäten Grasuntersaaten hatte kurzfristig keinen negativen Einfluss auf die Unkrautdichte und den Unkrautdeckungsgrad. In beiden Jahren war der Unkrautdeckungsgrad zu den beiden Terminen „nach Ernte“ und „vor Pflug“ beim Versuchsglied 'ohne Untersaat' am höchsten. Die eingesetzten Bodenherbizide *Terbuthylazin* und *S-Metolachlor* bewirkten zeitlich keine Reduktion der Unkräuter, die über die Phase des Maisanbaues hinausging. Dieser Effekt war lediglich durch die Ausbringung der Untersaaten zu erzielen.

Versuche aus dem ökologischen und konventionellen Landbau zeigen, dass es möglich ist, die Unkrautdeckungsgrade durch die Aussaat einer Untersaat zu reduzieren. In den zugrundeliegenden Systemen erfolgt jedoch zusätzlich der Anbau der Hauptkulturen in Fruchtfolgen (Fischer und Böhm, 2016; Shah et al., 2011). Die Ergebnisse unseres Versuches belegen, dass sich durch eine Untersaat solche Effekte auch im wiederholten Anbau von Silomais erzielen lassen. Der Einfluss der Untersaaten auf die einzelnen Unkrautarten war bei Fischer und Böhm (2016) unterschiedlich hoch. Es bleibt daher die Frage, ob dieses Verfahren im langjährigen Anbau von Silomais zu einer Selektion einzelner Unkrautarten führt, oder ob dies durch die Kombination mit einer Herbizidanwendung vermieden werden kann.

Die Anpassung der Herbizidstrategie an die Untersaat beinhaltet noch einen Zusatznutzen. Durch die Wirkstoffauswahl wird in den Versuchsgliedern auf den Einsatz von *S-Metolachlor* verzichtet und somit der Eintrag von Metaboliten in das Grundwasser vermieden. Weiterhin lassen sich vermutlich positive Effekte bei der Sanierung belasteter Flächen erreichen. Versuchsergebnisse belegen, dass durch den Maisanbau mit Zwischenfrüchten eine Reduktion der im Boden vorhandenen Metaboliten von *S-Metolachlor* aktiv gefördert wird (White et al., 2009). Diese resultieren aus der Einarbeitung der Zwischenfrucht zum Kulturende und dem damit verbundenen Anstieg der Kohlenstoffverbindungen im Boden. Die Erhöhung der Kohlenstoffverbindungen fördert die Sorption der Metaboliten und eine bessere Metabolisierung des Wirkstoffs durch Bodenorganismen. In der Untersuchung von White et al.

(2009) wurden zudem die Auswaschungsverluste der Metaboliten von *S-Metolachlor* durch den Anbau einer Zwischenfrucht um ca. 40% reduziert. In Regionen wie dem Nordwesten Niedersachsens, in denen in manchen Jahren durch einen späten Erntezeitpunkt des Silomais keine Aussaat von Zwischenfrüchten mehr möglich ist, ist ein Anbau von Silomais mit Untersaaten zur Reduzierung von *S-Metolachlor* Rückständen im Boden auf belasteten Flächen sinnvoll.

3.6.3 Erträge

Der Anbau mit Untersaaten beeinflusste im trockenen und warmen Jahr 2018 das Wachstum und die Entwicklung des Silomais: die Abreife des Silomais wurde gefördert. Verursacht wurde dies wahrscheinlich durch die Abnahme des pflanzenverfügbaren Wassers. Versuchsergebnisse zur Sickerwasserbildung unter Maisbeständen belegen, dass in den Varianten mit Untersaaten im Laufe der Kultur ca. 50% weniger Sickerwasser entsteht (Liedgens et al., 2004b). Diese Abnahme des pflanzenverfügbaren Wassers führt neben einer vorzeitigen Abreife des Mais noch zu einer Reduktion der Blattfläche und der Erträge (Liedgens et al., 2004a). In unseren Versuchen trat eine Reduktion der Erträge lediglich im Versuchsglied mit *Festuca*-Untersaat auf. Unsere Ergebnisse bestätigen damit die Beobachtung, dass die Ertragswirkung von Untersaaten im Wesentlichen vom Aussaatzeitpunkt und –verfahren abhängt (Aufhammer und Kübler, 1997). Das Saatgut von *Festuca rubra* wurde zu Beginn des Maisanbaues breitwürfig ausgebracht und gelangt somit auch in die Maisreihen, während das im BBCH Stadium 15 bis 16 ausgebrachte *Lolium* spp. Saatgut lediglich zwischen die Reihen gestreut wurde und somit nicht in die Pflanzreihen gelangte. Bei einer gezielten Ablage des Saatgutes zwischen die Maisreihen reichte dieser Abstand vermutlich aus, um eine Konkurrenz der Untersaat mit dem Silomais um Nährstoffe und Wasser zu vermeiden.

Durch die Untersaaten in Kombination mit angepassten Herbiziden wurden Unkrautdeckungsgrad und die Unkrautdichte in den Wintermonaten im Vergleich zum Versuchsglied 'ohne Untersaat' reduziert. Sowohl *Festuca rubra*, als auch *Lolium* spp. sind als Untersaaten geeignet. Einen erheblichen Einfluss auf den Erfolg der Maßnahme hatte die Witterung. *Lolium* spp. Untersaaten waren in unseren Versuchen weniger empfindlich gegenüber Phasen von Trockenheit in den Sommermonaten.

3.7 Literaturverzeichnis

- Andersson T N, Milberg P (1998): weed flora and the relative importance of site, crop, crop rotation, and nitrogen. *Weed Science* 1:30–38
- Aufhammer W, Kübler E (1997): Einfluss von Reihenweite und Untersaat auf den Silomaisertrag und den Nmin-Gehalt im Boden nach der Ernte. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 3:151–158
- Bajwa A A, Jabran K, Shahid M, Hafiz Haider A, Chauhan B S (2015): Eco-biology and management of *Echinochloa crus-galli*. *Crop Protection*:151–162
- Brod G (1968): Untersuchungen zur Biologie und Ökologie der Hühnerhirse *Echinochloa crus-galli*. *Weed Research* 2:115–127
- Carroll J C (1943): Effects of drought, temperature and nitrogen on turf grasses. *Plant Physiology* 1:19–36
- Cutti L, Lamego F P, Aguiar A C de, Kaspary T E, Rigon C A G (2016): Winter cover crops on weed infestation and maize yield. *Revista Caatinga* 4:885–891
- Dorn B, Jossi W, Heijden M van der (2015): Weed suppression by cover crops: comparative on-farm experiments under integrated and organic conservation tillage. *Weed Research* 6:586–597
- Fischer J, Böhm H (2016): Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais- Bohnen-Gemengen. *Julius-Kühn-Archiv* 452:439–445
- Fried G, Norton L, Reboud X (2008): Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2:68–76
- Grundy A C, Phelps K, Reader R J, Burston S (2000): Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytologist* 3:433–444
- Harker K (2013): Slowing weed evolution with integrated weed management. *Canadian Journal of Plant Science* 5:759–764
- Hartwig N L, Ammon H U (2002): Cover crops and living mulches. *Weed Science* 6:688–699
- Heyland K-U, Merkelbach H (1985): Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. *Die Bodenkultur* 4:347–359

- Klingenhagen G (2019): In der Summe überwiegen die Vorteile. Landwirtschaft ohne Pflug 3:30–35
- Kruidhof H M, Bastiaans L, Kropff M J (2009): Cover crop residue management for optimizing weed control. Plant and Soil 1:169–184
- LBEG, (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie), (2019): NIBIS Kartenserver. https://www.geodaten.niedersachsen.de/datenangebot/natur_umwelt/boden/
- Liebman M, Dyck E (1993): Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. Ecological Applications 1:92–122
- Liedgens M, Soldati A, Stamp P (2004a): Interactions of maize and Italian ryegrass in a living mulch system: (1) Shoot growth and rooting patterns. Plant and Soil:191–203
- Liedgens M, Frossard E, Richner W (2004b): Interactions of maize and Italian ryegrass in a living mulch system: (2) Nitrogen and water dynamics. Plant and Soil:243–258
- Mehrtens J, Schulte M, Hurle K (2005): Unkrautflora in Mais. Gesunde Pflanzen 8:206–218
- Mol F de, Redwitz C von, Schulte M, Gerowitt B (2012): Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002–2004. Julius-Kühn-Archiv 434:655–662
- Nelson W, Kahn B, Roberts B (1991): Screening Cover Crops for Use in Conservation Tillage Systems for Vegetables Following Spring Plowing. Horticulture 7:860–862
- NLWKN, (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), (2019): Grundwasserbericht Niedersachsen: Sonderausgabe zur Grundwassersituation im Trockenjahr 2018 (Band 36)
- MU + DWD, (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz & Deutschen Wetterdienst), (2018): Klimareport Niedersachsen - Fakten bis zur Gegenwart, Erwartungen für die Zukunft. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareport_ns/klimareport_ns.html
- Pinke G, Karácsony P, Czucz B, Botta-Dukát Z, Lengyel A (2012): The influence of environment, management and site context on species composition of summer arable weed vegetation in Hungary. Applied Vegetation Science 1:136–144

- Redwitz C von, Gerowitt B (2014): Welche Faktoren fördern das Auftreten von *Chenopodium album* auf norddeutschen Maisflächen? Julius-Kühn-Archiv 443:165–171
- Shah S N, Shroff J. C., Patel R H, Usadadiya V P (2011): Influence of intercropping and weed management practices on weed and yields of maize. International Journal of Science & Nature 1:47-50
- Stein S, Steinmann H-H (2018): Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. European Journal of Agronomy 92:30–40
- Steinmann H-H, Dobers E S (2013): Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. Journal of Plant Diseases and Protection 2:85–94
- Teasdale J, Mirsky S, Cavigelli M (2018): Meteorological and Management Factors Influencing Weed Abundance during 18 Years of Organic Crop Rotations. Weed Science 4:477–484
- The R Foundation (2019): The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- White P, Potter T, Bosch D, Joo H, Schaffer B, Muñoz-Carpena R (2009): Reduction in *Metolachlor* and degradate concentrations in shallow groundwater through cover crop use. Journal of agricultural and food chemistry 20:9658–9667
- Wienberg J, Pannwitt H, Bünte R, Gerowitt B (2018): Auswirkung von Grasuntersaaten auf die Unkrautvegetation im Silomais - Eine Einführung in die Untersuchungen. 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. 27.02. - 01.03.2018
- Zwerger P, Augustin B, Becker J, Dietrich C, Forster R, Gehring K, Gerhards R, Gerowitt B, Huttenlocher M, Kerlen D, Klingenhagen G, Landschreiber M, Meinlschmidt E, Nordmeyer H, Petersen J, Raffel H, Schönhammer A, Ulber L, Wolber D M (2017): Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen 4:146–149

Kapitel 4

**Intercropping with *Lolium* spp. instead of applying soil-active herbicides
confined weeds in three years of continuous maize cropping**

Eingereicht 2021 in Crop Protection

Intercropping with *Lolium* spp. instead of applying soil-active herbicides confined weeds in three years of continuous maize cropping

Jens Wienberg^{1,2}, Bärbel Gerowitt¹

¹ Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Satower Straße 48,
18051 Rostock

² Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Ostfriesland, Am Pferdemarkt 1,
26603 Aurich

4.1 Abstract

Owing to its high yields and carbohydrate content, maize is cropped continually to produce biomass for silage, but herbicides are commonly used to control weeds. In a proof of concept approach, continuous maize cropping systems were investigated to identify whether intercropping with annual grasses and adapted herbicide use could replace the soil-active herbicide *S-Metolachlor*. An experiment in nine maize fields conducted from 2017 to 2019 contrasted the current practice with two systems of intercropping (*Festuca* spp. and *Lolium* spp.) and adapted herbicide use.

Over this three-year period, the cropping system with *Lolium* spp. as the intercrop confined weeds as effectively as the common practice using herbicides, but the cropping systems differed in their control of *Echinochloa crus-galli* and *Poa annua*. The densities of the summer annual *E. crus-galli* increased in the treatment with *Festuca* spp. as the intercrop and no chemical control of monocot weeds.

Control of the species *P. annua* that exhibits year-round germination depended on the herbicide treatment and competition with the intercrop. Densities in *P. annua* were lowest in the cropping system with *Lolium* spp. as the intercrop in all years. The cover of the *Lolium* spp. intercrop was negatively correlated with weed cover, but this was not the case with the *Festuca* spp. intercrop. There were no differences in yield between the cropping system treatments. Dry matter content was significantly higher in the *Festuca* spp. cropping system in each year.

4.2 Introduction

Maize has become a popular crop in Germany and in 2020 was cropped on 2.7 million ha of arable land (destatis, 2021). A large proportion of maize biomass is used for silage (2.3 million ha). Silage from maize yields large quantities of fodder in qualities suitable for dairy and beef cattle (DMK, 2020). The north-western part of Germany close to the Dutch border is characterised by dairy farms (LSKN, 2011) that rely on silage maize to feed their livestock, and thus the long-term cultivation of maize is a common practice there. Steinmann and Dobers (2013) report that about approximately 60 % of arable land in this region is under maize monoculture and crop rotation is rare.

Farmers in this region commonly use a mixture of soil-active and foliar herbicides to control weeds once during maize cropping (Roßberg, 2013), including monocot and dicot weed species (Kuhlmann et al., 2020). The soil-active ingredient *S-Metolachlor* is an important component in this treatment. In recent years, two developments have indicated increasing problems with this simple strategy:

(1) Active ingredients and their metabolites found in the groundwater are threatening drinking water quality (NLWKN, 2015). Data analyses show a strong correlation between the use of the arable land and the detected metabolites. In continuous maize cropping systems, metabolites of the active ingredient *S-Metolachlor* are frequently detected (NLWKN, 2020). In some water catchment areas, the use of *S-Metolachlor* is prohibited because the metabolites have been found in high concentrations (BVL, 2021).

(2) An increasing index for the treatment intensity of herbicides in maize indicates insufficiencies in weed control (Roßberg, 2016). Continuous maize cropping selects for weed species that are adapted to these conditions. *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Poa annua*, *Stellaria media* and *Solanum nigrum* are typical weed species in long-term maize cropping systems (Mehrtens et al., 2005; Mol et al., 2012).

Against the backdrop of these two developments, a field experiment was carried out with the objective of avoiding *S-Metolachlor* and the uncontrolled spread of adapted weed species, while maintaining continuous maize cropping.

Uncontrolled weeds generally cause yield losses in maize. Mechanical control, e.g. as undertaken in organic farming, does not prevent significant losses of yield due to weeds (Melander et al., 2005), even when weeds are mechanically controlled intra-row (Mulder and Doll, 1993; Schweizer et al., 1994). Chemical control combined with mechanical measures

successfully controls weeds and prevents yield losses (Bates et al., 2012; Pleasant et al., 1994; Vangessel et al., 1995). In view of these previous findings, the present experiment adapted herbicide use but did not completely replace it.

One approach is to accompany continuous maize cropping with an intercrop and adapt the herbicide treatment for this crop. Herbicide treatment at the beginning of the crop season should give the maize a weed-free period and then, the intercrop can suppress weeds by competing for light, water, nutrients and, following harvest, cover the field during the winter fallow period. Studies from organic farming have demonstrated successful weed suppression by intercropping grass (Fischer and Böhm, 2016; Uchino et al., 2012). Intercropping with winter hard grasses has two advantages: (1) in the main crop maize, dicot weeds can be controlled chemically, and (2) after the maize harvest, the intercrop can remain on site and become an overwintering cover crop.

Festuca spp. are intercropping candidates that are described as being resistant to drought and low temperatures (Bean, 1970; Carroll, 1943). Nelson et al. (1991) observed poor soil coverage in their experiments and recommend *Festuca* spp. be sown shortly after the maize crop. Therefore, all soil-active and foliar herbicides controlling monocot weeds must be avoided to save the intercrop.

Lolium spp. intercrops are sensitive to summer drought (Bean, 1970). Nelson et al. (1991) achieved high weed suppression with *Lolium* spp. intercrops, however, Fischer and Böhm (2016) and Kruidhof et al. (2008) have reported differences in their effects on weed species. While *S. media* and *P. annua*, were sufficiently suppressed, *C. album* was hardly affected by the *Lolium* spp. intercrop. Intercropping with *Lolium* spp. offers more opportunities for chemical control, because even when sown six to eight weeks after maize, this intercrop grows well and produces enough cover. Soil-active herbicides must be omitted, but foliar herbicides against monocot and dicot weeds can be applied to maize prior to sowing the intercrop.

The majority of experiments with intercrops are based on one-year trials or maize cultivated in crop rotations (Brust et al., 2011; Cutti et al., 2016; Shah et al., 2011). To the authors' knowledge, there has barely been any investigation of the multi annual effects on weed species in continuous maize cropping system intercropped with grass and accompanied by adapted herbicide use.

Against the backdrop of avoiding the use of *S-Metolachlor* and maintaining continuous maize cropping but preventing adapted species from dominating the weed vegetation, a proof of

concept was performed for three maize cropping systems. A common practice without intercropping but with the soil-active herbicide *S-Metolachlor* was contrasted with two intercropping system treatments: *Festuca* spp. with foliar herbicides against dicots only, and *Lolium* spp with herbicides against dicot and monocot weeds prior to sowing.

The proof of concept was based on a multi-annual experiment in a fixed location. It was hypothesised that in continuous maize cropping systems:

1. intercropping with annual grasses and adapted herbicide use prevents an increase in weed densities
2. intercropping with annual grasses and adapted herbicide use suppress all weed species
3. intercropping with *Lolium* spp. and application of herbicides against monocot weeds controls grass weeds in maize as effectively as soil-active herbicides
4. intercropping with annual grasses does not reduce maize yield

4.3 Material and methods

The field experiment was conducted from 2017 to 2019 in northwest Germany. Over the three-year period, nine arable fields in the district of Leer had an identical design. Each field was at least one hectare. Prior to the establishment of the experiment, the fields had been conventionally cropped with maize for at least five years, leading to a weed composition that is typical for long-term maize cropping at all sites (Wienberg et al., 2018).

Geological maps classified the soils of the experimental sites as Gley, Pseudogley, Podsol, Erdhochmoor and Plaggenesch (LBEG, 2019). Before the start of the experiment, soil profiles were taken at each site to verify homogenous soil conditions. The nutrient status was determined in soil samples from each field. Analyses of chemical parameters (pH-values, soil organic matter (SOM) and nutrient levels) at each site rated six sites as weakly organic (< 4 % SOM content), two sites as medium organic (4.1 to 8 % SOM content) and one site as strongly organic (8.1 to 15 % SOM content). Manual soil texture analyses classified seven of the nine fields as sandy soil, one as silty clay and one as clay soil.

4.3.1 Weather data

The district of Leer has a cold temperate climate (DWD, 2020). The weather conditions during the three years differed considerably. Annual precipitation in 2017 (940 mm) and 2018 (640 mm) differed greatly from the long-term average of 822 mm, which was almost achieved in 2019 (837 mm).

Each year in the test period was warmer than the long-term average for the period 1981 to 2010 (DWD, 2020). The average temperature rose during this time with 10.1 °C in 2017, 10.3 °C in 2018 and 10.6 °C in 2019. All years were 0.8 to 1.3°C above the long-term average.

4.3.2 Experimental design

The experiment was established at all sites three days after maize sowing in 2017 in a randomised block design with three replicates. The plot size was 49 m² (7 m * 7 m). Nine rows of maize grew in each plot (9 plants/m²). A minimum distance of 18 m from the field edge ensured the exclusion of edge effects. In the following years of the experiment, the plots were positioned in the same place using the polar method (Matthews, 1985).

Three cropping systems were tested in which maize was either cultivated without intercropping or with two different types of grass as intercrops. The two treatments with grass as intercrops

used *Festuca* spp. (red fescue) and *Lolium* spp. (ryegrass) respectively. While the *Festuca* spp. intercrop was sown three days after maize, hence before the maize emerged, the *Lolium* spp. intercrop was sown at the five or six leaf-stage of maize (BBCH 15 to 16). Consequently, the cropping system with *Festuca* spp. as the intercrop allowed herbicide applications against dicot weeds only in order to save the intercrop, while the late-sown *Lolium* spp. intercrop allowed the application of herbicides against monocot and dicot weeds before the intercrop emerged (Table 7). Herbicides were always applied at the 3 to 4 leaf-stage of the maize (BBCH 13 to 14).

Tab. 7: The cropping system treatments - active ingredients applied, product and applied dose, grass species sown and seeded amount.

Cropping system	Ingredients, (products, dose)	Grass species percentages	Seeded amount
“ <i>Festuca</i> spp. intercropping”	<i>Mesotrione</i> (Callisto®; 1,0 l/ha) <i>Thifensulfuron Methyl</i> (Harmony SX®; 20 g/ha)	90 % <i>F. rubra</i> 10 % <i>F. ovina</i>	5 kg/ha
“ <i>Lolium</i> spp. intercropping”	<i>Mesotrione</i> (Callisto®; 1,0 l/ha) <i>Bromoxynil</i> (B235®; 0,3 l/ha) <i>Rimsulfuron</i> (Cato®; 25 g/ha)	50 % <i>L. multiflorum</i> 50 % <i>L. perenne</i>	15 kg/ha
“No intercropping”	<i>Terbuthylazin</i> + <i>Mesotrione</i> (Callaris®; 1,2 l/ha) <i>S-Metolachlor</i> (Dual Gold®; 1,0 l/ha) <i>Prosulfuron</i> (Peak®; 20 g/ha) <i>Rimsulfuron</i> (Cato®; 25 g/ha)	-	-

A backpack sprayer with two 3 L tanks and a spray bar 1.5 m wide with six flat jet nozzles (Lechler GmbH) installed every 30 cm was used to apply the herbicides. The spray pressure was constant at two bars during application. A medium drop size was applied to minimise the risk of drift. The four middle nozzles had a spray angle of 120 ° and the two edge nozzles had a spray angle of 90 °.

4.3.3 Experiment management

In all years and at all sites the seedbed was prepared by ploughing. Ploughing, sowing and fertilising was undertaken by the farm, which also choose the varieties and sowing rates. During the three years, fourteen different maize varieties were cropped, five varieties belonged to an early maturity type with an FAO classification below 220, while eight varieties had an FAO classification of 230 - 250 and one variety belonged to the FAO group 260 - 290. The sowing dates were adapted to the soil properties of the different test sites. In 2017, the maize was sown between April 28 and May 13, in 2018 between May 3 and May 12, and in 2019 between April

30 and May 9. At each site, the sowing date differed between the years by a maximum of seven days due to the weather. Maize was cultivated uniformly with 75 cm row spaces at all sites.

The GISP fertiliser-planning program of the Chamber of Agriculture Lower Saxony (LWK, 2020) calculated the amount of fertiliser required. At all sites the fertilisation was a combination of cattle manure and mineral fertiliser applied under the root.

4.3.4 Assessments

Weeds were recorded in nine subsamples of 0.1 m² in a diagonal line in all plots and on all assessment dates. In these subsamples the cover of all plants except maize (%), the cover of the intercropped grasses (%), the proportion of each weed species in the weed cover (%) and the density of each weed species (plants/m²) were recorded.

Weed and intercropped grass cover usually overlapped, thus the cover of all plants except maize and the cover of the intercropping grass were estimated separately and the weed cover obtained by subtraction. Weeds and intercrops were assessed on five occasions: one to three days after maize sowing = “Sowing”, just before the herbicide treatment approximately four weeks after sowing at maize BBCH stage 13 to 14 = “Before herbicide”, 10 days after the herbicide treatments at maize BBCH stage 15 to 16 = “After herbicide”, 40 days after maize harvest = “After harvest” and the following March just prior to ploughing the seedbed for the next maize crop = “Before plough”.

The yield of the maize crop was assessed in three rows per plot, marked in 1 m sections that were not adjacent to one other. Five to eight plants grew in each marked section. The plots were manually harvested 14 days before the fields. The harvest took place between September 28 and October 19 in 2017, between September 7 and September 24 in 2018, and between September 19 and October 6 in 2019. The maize plants in all marked rows were cut directly above the surface and weighed instantly. Dry matter content was assessed in a subsample of six plants per plot (two per harvested maize row). A 400-volt garden shredder (SCHEPPACH Biostar 3000) crushed the harvested plants. A mixed biomass sample of 1500 g was dried at 110 °C until constant weight.

4.3.5 Data analysis

Weed density, weed cover and intercropping grass cover in the cropping system treatments were analysed using linear mixed-effects models. The models included the fixed effects of cropping system and year. Sites and the interactions of site*year and site*year*cropping system

were included as random effects. Replicates were nested in sites. Prior to the analyses, weed density, weed cover and intercropping grass cover data were Box-Cox transformed to satisfy assumptions of normality and homogeneous variance. Back-transformed means are given in the figures and tables.

The three cropping system treatments differed in the herbicides applied. The efficacy of the different herbicide measurements (he) on the density of the ten most common weed species was calculated in the “after herbicide” weed assessment, according to Henderson and Tilton (1955):

$$he \% = \left(1 - \frac{\text{untreated before herbicide} * \text{treatment after herbicide}}{\text{untreated after herbicide} * \text{treatment before herbicide}} \right) * 100$$

The weed densities for *E. crus-galli*, and *P. annua* differed between the cropping systems and thus were evaluated species wise. The density of *E. crus-galli* did not meet normality even after transformation and thus a non-parametric test was applied. The density of *P. annua* Box-Cox transformed met the assumption of normality and homogeneous variance, and the linear mixed-effect model was applied.

The grasses intercropped with maize continued to cover the soil after the maize harvest in winter. The data of the “after harvest” and “before plough” assessments were analysed for the intercropped system treatments. A linear correlation analysis verified the relationship between weed and intercropping cover.

A *Shapiro-test* proved normal distributions for yields (dry matter t/ha) and dry matter (%), and thus the linear mixed-effect model was applied.

All data analyses were performed using the statistics program R 4.03 (R Core Team, 2013). Mixed models were analysed with the lme4 package (Bates et al., 2015). The package MASS (Venables and Ripley, 2007) was used for the Box-Cox transformation and the PMCMRplus package (Pohlert, 2021) for the non-parametric Friedman-test. Means of the normally distributed data were compared with Tukey HSD using the emmeans function (Lenth et al., 2021). Non-normally distributed data of *E. crus-galli* were compared using the Friedman-test. Results were considered as significantly different at $P \leq 0.05$.

4.4 Results

4.4.1 Weed species

In total, 29 weed species were recorded during the three years of the experiment. In the rainy year of 2017, 21 different species were counted, 24 in the dry year of 2018, and 26 in the average year of 2019. *C. album*, *E. crus-galli*, *P. annua* and *S. media* appeared at all sites every year. In the first two years of the experiment, *S. nigrum* occurred at eight of the nine sites, and was present at all sites in the last year. The other weed species did not occur at all the sites. The average number of weed species was 8.55 per site in 2017, 10.9 per site in 2018, and 12.1 species per site in 2019.

4.4.2 Weed density

The cropping system treatments significantly affected the total weed density, the density of *P. annua*, the cover of the weeds and the cover of the intercrops (Table 8). The random factor sites influenced all variables through the nested factors.

Tab. 8: Factors and their interactions (p-values in the mixed model) affecting weed density, density of *P. annua*, weed cover, intercropping cover, yield (t/ha DM) and dry matter (% content).

	Weed density	<i>P. annua</i> density	Weed cover	Intercropping		Yield	Dry matter
				After harvest	Before plough		
Fixed effects							
Cropping system	< 0.001***	< 0.001***	< 0.001***	< 0.001***	< 0.001***	0.073	< 0.001***
Year	0.001***	< 0.001***	0.028*	0.026*	0.643	< 0.001***	< 0.001***
Random effects							
Site	< 0.047*	0.010*	0.203	0.729	0.928	0.147	0.249
Site:year	< 0.001***	< 0.001***	< 0.001***	0.002**	0.372	< 0.001***	< 0.001***
Site:year: cropping	< 0.001***	< 0.001***	< 0.001***	< 0.001***	< 0.001***	0.513	1.000

Significance codes: 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*'

Weed density differed significantly between the cropping system treatments and years (Table 9). Weed density was lowest in the treatment “*Lolium* spp. intercropping” in all years, while the weed densities in the treatments “*Festuca* spp. intercropping” and “no intercropping” did not differ significantly (Table 9).

Tab. 9: Mean weed density (plants/m²), in the cropping systems. Different letters indicate significant differences (Tukey Test, $P < 0.05$), all assessment dates, n = 135.

Year	<i>Festuca</i> spp. intercropping	<i>Lolium</i> spp. intercropping	No intercropping
2017	57.7 de	51.0 d	84.4 e
2018	41.9 bc	30.9 a	39.2 bc
2019	45.3 c	32.7 ab	48.6 cd

The temporal development in weed densities during the three years revealed that the cropping system treatments mainly differed in winter (Fig. 12, “after harvest” – “sowing”). In this period, the weed density of cropping system “*Lolium* spp. intercropping” was smallest in all years, while the weed density in the treatment “*Festuca* spp. intercropping” was lower than in the treatment “no intercropping” in 2017 and 2019 only.

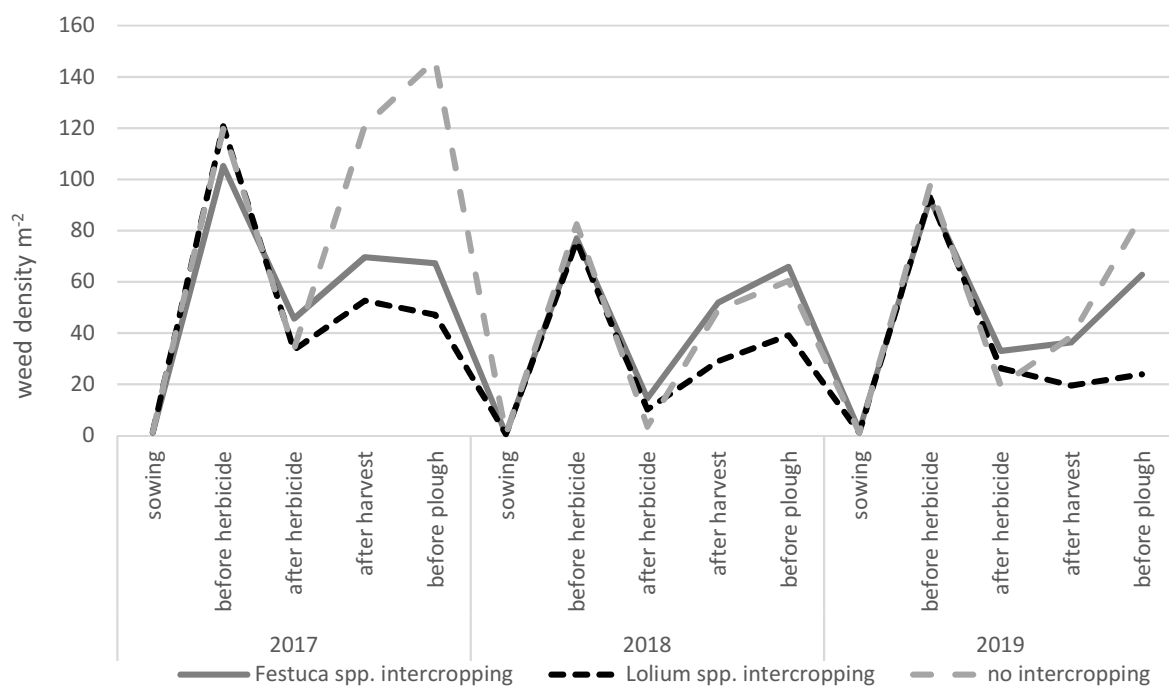


Fig. 12: Weed density in the cropping systems assessed at “sowing”, “before herbicide”, “after herbicide”, “after harvest” and “before plough” 2017-2019, n= 27.

The density of all weed species decreased between assessments “before herbicide” and “after herbicide” (Table 10), but the weed species were affected differently.

All applied herbicides affected the densities of the dicot species more (15 to 20 %) than those of the monocot species. In the treatment “*Festuca* spp. intercropping”, *P. annua* density was almost unaffected (3.4 %) by the herbicides. The densities of the two perennial species *Elymus repens* and *Convolvulus arvensis* were less affected than all annual species except for *P. annua*.

Tab. 10: Density (plants/m²) of the ten most common weed species in the experiment assessed before herbicide (bh) and after herbicide (ah) in the cropping systems. Percentage herbicide efficacy (he), according to Henderson & Tilton (1955).

Species \ Treatment	<i>Festuca</i> spp. intercropping			<i>Lolium</i> spp. intercropping			No intercropping		
	bh	ah	he	bh	ah	he	bh	ah	he
Monocot weeds									
<i>Elymus repens</i>	16.1	12.4	67.9	4.6	2.4	78.3	4.4	2.1	80.7
<i>Echinochloa crus-galli</i>	26.2	10.5	79.8	19.9	7.9	79.9	18.9	5.7	84.5
<i>Poa annua</i>	10.3	14.5	3.4	18.4	11.1	58.3	21.6	10.0	68.2
Dicot weeds									
<i>Chenopodium album</i>	16.8	0.9	95.6	19.5	0.6	97.6	19.8	0.1	99.4
<i>Convolvulus arvensis</i>	8.9	3.4	71.2	13.2	4.7	73.7	13.8	5.4	70.8
<i>Fallopia convolvulus</i>	3.0	0.4	88.5	3.0	0.6	85.4	3.3	0.4	90.5
<i>Lamium amplexicaule</i>	3.6	0.1	98.5	3.3	0.1	99.3	4.6	0.1	99.6
<i>Matricaria discoidea</i>	7.0	1.9	82.0	4.4	0.2	96.4	9.3	1.2	91.5
<i>Solanum nigrum</i>	22.8	0.1	98.6	24.6	0.6	95.7	22.2	0.1	98.2
<i>Stellaria media</i>	4.6	0.2	95.7	5.4	0.1	99.6	4.9	0.1	99.1

The cropping system treatments affected the density of weed species differently (Fig. 13). The mean density of *E. crus-galli* tended to increase in all treatments. In the third year, this increase was significant in the treatment “*Festuca* spp. intercropping“, while the treatment “*Lolium* spp. intercropping” did not differ from “no intercropping”.

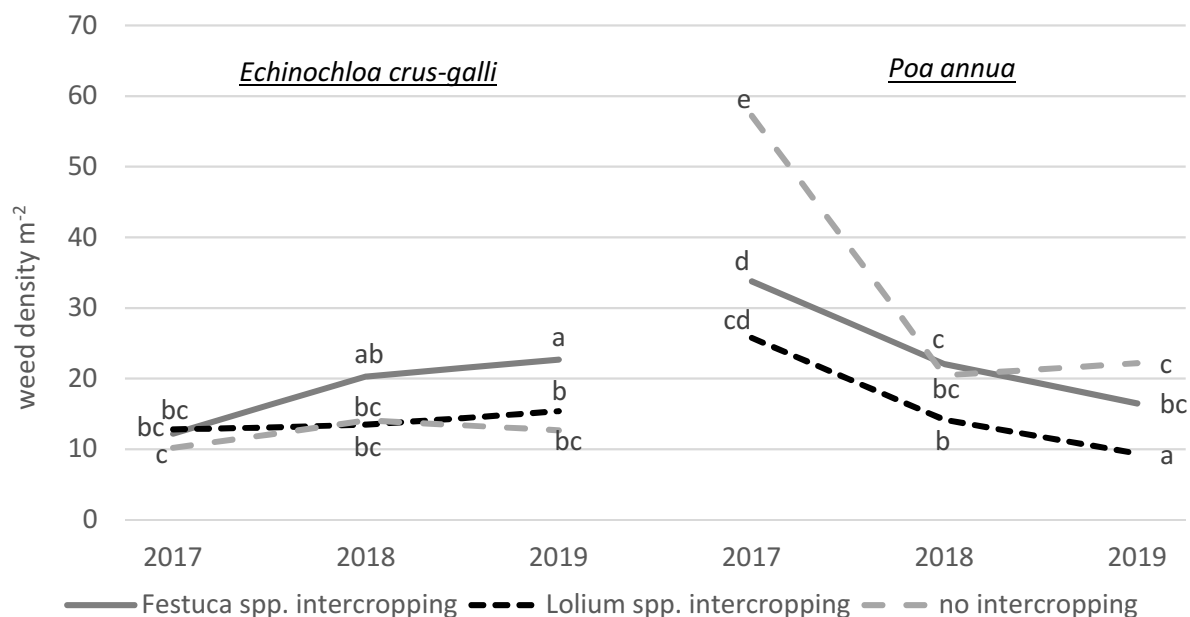


Fig. 13: Density of *E. crus-galli* and *P. annua* in the cropping systems 2017-2019. Different letters indicate significant differences (*E. crus-galli* = Friedman Test; *P. annua* = Tukey Test, $P < 0.05$), $n = 27$.

The fixed effects of cropping system treatments and year affected the density of *P. annua*. (Table 8). In the treatment “no intercropping”, the densities of *P. annua* were significantly higher in the first year than in the second and third years. The density of *P. annua* continuously decreased in the cropping system treatments with intercrops (Fig. 13). The decrease in the treatment “*Lolium* spp. intercropping” was significant in 2019.

4.4.3 Weed cover

The linear mixed-effects model indicated significant effects of treatments and year on weed cover (Table 8). During the experimental period, weed cover decreased in all cropping system treatments (Fig. 14). The treatment “no intercropping” had the greatest weed cover, which was significantly lower between the first and third years. Weed cover in the treatment “*Lolium* spp. intercropping” decreased to the lowest level in 2019. In the seasonal assessments, differences occurred mainly between the assessments “after harvest” and “before plough” (Wienberg and Gerowitt, 2020).

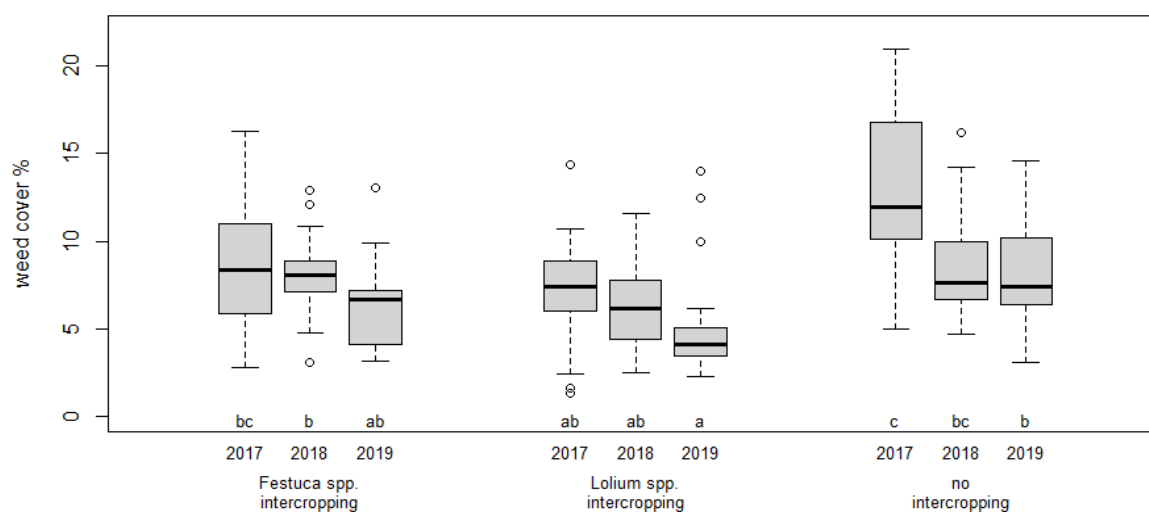


Fig. 14: Weed cover in the cropping system treatments 2017-2019. Different letters indicate significant differences (Tukey Test, $P < 0.05$), $n = 27$.

4.4.4 Intercrop cover

Intercropping cover was significantly affected by cropping system treatments (Table 8). In every year intercropping cover increased in the treatment “*Lolium* spp. intercropping” more than in the treatment “*Festuca* spp. intercropping” (Fig. 15). The *Festuca* spp. cover hardly grew between the assessments “after harvest” (mean 20.2 %) and “before plough” (mean 24.6

%). In contrast, in the treatment “*Lolium* spp. intercropping”, the intercropping cover greatly increased between the assessments “after harvest” (mean 26.9 %) and “before plough” (mean 42.3 %).

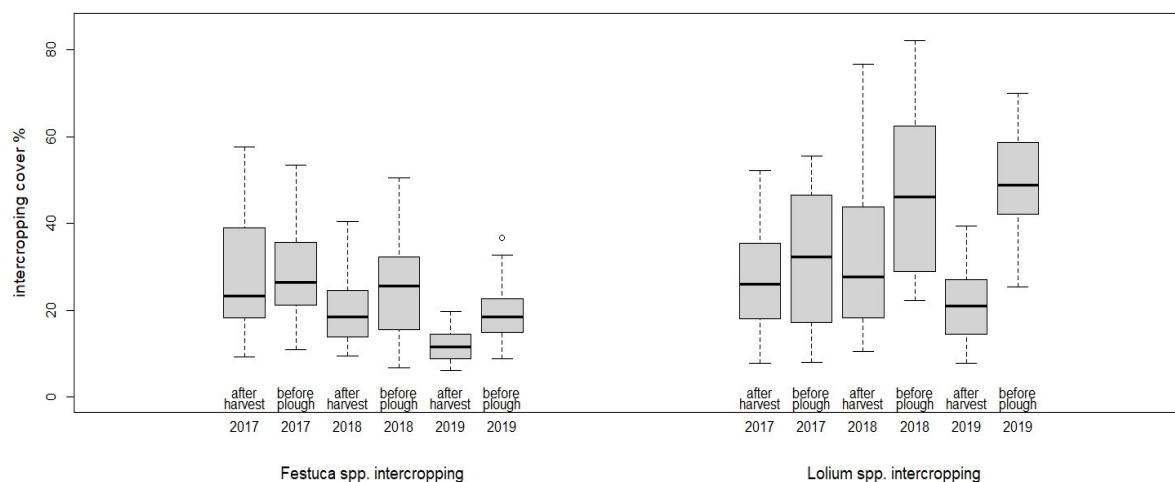


Fig. 15: Cover of the intercropping grasses in the two treatments “after harvest” and “before plough” 2017-2019.

In the treatment “*Lolium* spp. intercropping”, weed and intercrop cover were negatively correlated (Fig. 16). An increasing *Lolium* spp. cover reduced weed cover. In contrast, in the treatment “*Festuca* spp. intercropping”, the correlation between intercrop cover and weed cover was not significant. There was no significant reduction in weed cover by the *Festuca* spp. intercrop.

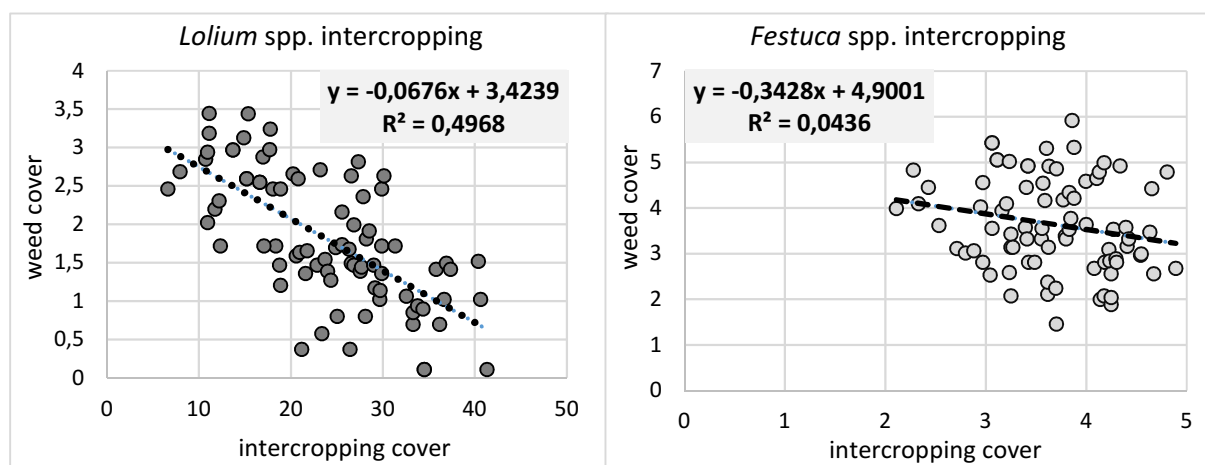


Fig. 16: Intercrop and weed cover in the treatments with *Lolium* spp. (left) and *Festuca* spp. (right). Weed assessments “after harvest” and “before plough”, all years, n=162, Pearson-test for correlation, transformed data.

4.4.5 Yield data

The cropping system treatments had significant effects on dry matter, but not on yield (Table 8). The year affected both, yield and dry matter. The dry matter content in the cropping system treatment “*Festuca* spp. intercropping” was significantly higher than in the treatment “no intercropping” in all years (Table 11). In 2018 and 2019 with low and average precipitation respectively, the dry matter content of the cropping system treatment “*Lolium* spp. intercropping” was higher than in the “no intercropping” treatment, but not significantly so.

Tab. 11: Mean yield (dry matter t/ha) and dry matter (content %), in the cropping systems, n = 27. Different letters indicate significant differences (Tukey Test, $P < 0.05$), n = 27.

Year	Yield (DM t/ha)			Dry matter (%)		
	<i>Festuca</i> spp. intercropping	<i>Lolium</i> spp. intercropping	No intercropping	<i>Festuca</i> spp. intercropping	<i>Lolium</i> spp. intercropping	No intercropping
2017	23.4 b	23.4 b	23.2 b	29.6 b	28.5 a	28.6 a
2018	17.1 a	18.1 a	17.4 a	35.1 e	33.1 de	32.5 d
2019	17.4 a	17.5 a	18.2 a	30.9 c	30.2 bc	29.9 b

4.5 Discussion

The experiment, conducted as a series on nine sites, tested three concepts to deal with weeds in continuous maize cropping, two innovative systems with an intercrop in contrast to the common current practice of herbicide application. One finding that is important for any practical implementation is that, the three systems did not differ in their maize yield quantities. While this applied to the cropping system treatments, the effects of year and sites on yield mirrored the influence of the different site-specific production factors. This result confirmed hypothesis (4) and the robustness of the intercropping system treatments, especially with respect to the extreme annual conditions in two of the experimental years (Wienberg et al., 2020). A reduction in maize yield, as reported by Aufhammer and Kübler (1997), who sowed intercrops and maize simultaneously, was avoided by either choosing a low competitor annual grass (*Festuca* spp.) or by postponing sowing of the more competitive intercrop (*Lolium* spp.) to give the maize crop an advantage of growth. Maize appears to be a favourable crop for intercropping, as supported by the robustness in yield quantities frequently reported (Brust et al., 2011; Uchino et al., 2012).

The dry matter content of the maize biomass increased significantly in the cropping system “*Festuca* spp. intercropping” in each year. This is important, because the silage process requires a minimum dry matter content of 32 %. Thus, maize intercropped with *Festuca* spp. was ready for harvest a little earlier. This can be an advantage in terms of harvest conditions. Liedgens et al. (2004) observed a higher grass root density per cm² in maize intercropped with *Lolium multiflorum* and attributed this effect to a greater water absorption by the grass than by the maize crop. As a result, *Lolium multiflorum* resulted in higher dry matter contents in maize intercropped with *Lolium multiflorum*.

The combinations of herbicide treatments and intercrops did not affect weed species composition in the three experimental years. Buchanan et al. (2016) also observed no influence of cover crops on weed composition after four years of continuous cropping. Herbicides with different active ingredients applied repeatedly affected the weed composition after five or more years of applications (Derksen et al., 1995; Pallutt, 2010). An experimental period of three years was probably too short to see the effects on the pure composition of species.

Weed density and weed cover were lowest in the treatment “*Lolium* spp. intercropping” in all years, while weed densities and cover of the treatments “*Festuca* spp. intercropping” and “no intercropping” did not differ. Thus, the systems intercropped with annual grasses and adapted herbicide treatment prevented an increase in weed densities. This result confirms the first

hypothesis. A reduction in weed density and weed cover by intercropping grass has been found in previous experiments in maize cropping systems (Brust et al., 2011; Fischer and Böhm, 2016). However, in those experiments, maize was intercropped with grass in crop rotations and not in continuous cropping.

A comparison of different intercrops has demonstrated sufficient weed suppression by *Lolium* spp. (Cutti et al., 2016; Kruidhof et al., 2008). While the weed densities in the present experiment did not rise overall, the densities of the monocot weed species *E. crus-galli* increased slightly over the three years, and significantly so in the treatment “*Festuca* spp. intercropping”. Thus, the second hypothesis, that cropping systems with intercrops and adapted herbicide treatment suppress all occurring weed species could not be confirmed.

E. crus-galli is a summer annual weed, emerging rather late in the spring with times of germination perfectly adapted to maize cropping. The effects of the innovative cropping system treatments always relied on the two components of intercrop and herbicides. Intercrops compete with weeds for water, light and nutrients (Brust et al., 2011; Campiglia et al., 2015; Heyland and Merkelbach, 1985). Therefore, weed suppression by intercrops depends on a rapid and uniform cover of the soil (Olasantan et al., 1994; Shah et al., 2011). The differences between the two innovative systems are important. The *Festuca* spp. intercrop did not develop enough cover to suppress the weed sufficiently. The significant increase in the cropping system “*Festuca* spp. intercropping” indicated that an intercrop with low competitiveness and no chemical control on grass weeds is not sufficient to keep *E. crus-galli* under control in a continuous maize cropping system.

Although the cover of the intercrop was highest and the weed density lowest in the cropping system “*Lolium* spp. intercropping”, the densities of *E. crus-galli* increased slightly, but not significantly so. Thus, the hypothesis that foliar herbicides against monocots in the cropping system treatment “*Lolium* spp. intercropping” control grass weeds as effectively as soil-active herbicides without intercropping was confirmed.

When *E. crus-galli* started to germinate, the *Lolium* spp. intercrops had not yet been sown in the experiment. Hence, the control of *E. crus-galli* depended most on the herbicide treatment, although this could not ultimately be verified in the system treatment design.

The herbicide treatment in the cropping system “*Lolium* spp. intercropping” was sufficient to control *E. crus-galli* in a continuous maize cropping system for three years. Experiments on the efficacy of foliar herbicides against *E. crus-galli* resulted in a reduced suppression compared

with soil-active herbicides (Claerhout et al., 2015). *E. crus-galli* germinates over a longer period due to dormancy and high genetic variability in the species for example (Bajwa et al., 2015; Pannwitt et al., 2018). A scattered germination reduces the efficacy of foliar ingredients (Claerhout et al., 2015).

Control of grass weeds in the treatment “*Lolium* spp. intercropping” relied on the active ingredients *Mesotrione* and *Rimsulfuron*. Insufficient efficacy of *Mesotrione* against monocot weeds has been proven by Skrzypczak et al. (2011) and Zhang et al. (2013). *Mesotrione* achieves a high efficacy against *E. crus-galli* at a full application rate and an optimal application time (Pannacci and Covarelli, 2009). Damalas et al. (2012) obtained similar results for *Rimsulfuron* efficacy on different *Echinochloa* species. Thus, the efficacy of *Mesotrione* and *Rimsulfuron* greatly depends on application time and rate. If, as in the present experiment, the goal is to control weeds with just a single treatment, the optimum application time for each ingredient is difficult to achieve. In fact, there needs to be a compromise on the time of application to cover as many weed species as possible.

In the experiments of Mathiassen et al. (2007) the split of foliar herbicide treatments controls summer-germinating grasses for a longer period. In the cropping system “*Lolium* spp. intercropping”, an adaptation of the herbicide treatment, e.g. splitting the treatment, could probably improve the control of *E. crus-galli* but would incur the costs of a second application.

P. annua produced results that are important for evaluating the two innovative systems. Although the densities of *P. annua* decreased in the three cropping seasons, the cropping systems differed markedly. In contrast to *E. crus-galli*, *P. annua* is a year-round germinating species. Thus, in order to understand the development of *P. annua* winter is as important as the main cropping period. Crucial differences in the densities of *P. annua* arise during the winter period (Wienberg and Gerowitt, 2020). In the common practice treatment with no intercropping, the winter fallow was bare soil. Only the herbicides applied in the maize crop had any effects on the weeds. After the maize harvest, the soil in the cropping system “no intercropping” remained uncovered and untilled, hence without any further non-chemical weed suppression. The soil-active ingredients *Terbuthylazin* and *S-Metolachlor* applied in maize did not affect the spread of the year-round germinating weed species *P. annua* on the winter fallow. The results of this experiment confirm the observation of Streit et al. (2002), who tested the influence of tillage and timing of herbicide application on weed density. They noted that untilled and uncovered soils favour an increase in *P. annua* densities. Tests on herbicide efficacy confirmed that other soil-active ingredients such as *Tembotrione* or *Simazin* also

suppress weeds for the period of maize cropping only (Galon et al., 2018). The authors recommend an additional measure to control year-round germinating weeds such as *P. annua* during the winter fallow. In the innovative cropping systems this function was fulfilled the overwintering intercrops. The results demonstrated that *Lolium* spp. intercrops are most suitable for this purpose. Experiments in crop rotation have shown cover crops to be suitable for this purpose (Alonso-Ayuso et al., 2020; Buchanan et al., 2016). Sowing a cover crop in autumn between two main crops reduced the weed densities in the main crop that followed. The combination of herbicide and intercrop resulted in the lowest *P. annua* densities in each year. With respect to the results of Galon et al. (2018) it can be argued, that the effects of a *Lolium* spp. intercrop substituted an additional herbicide treatment in the winter fallow.

In the present experiment, *Festuca* spp. was less effective at suppressing weeds than *Lolium* spp.. Several studies on the suitability of *Festuca* spp. as a cover crop report similar results (Carroll, 1943; Nelson et al., 1991). Due to the early sowing date of *Festuca* spp., the effects on weed density were smaller and thus the intercrop could not replace an herbicide treatment against monocot weeds. When testing different cover crops Stoltz and Nadeau (2014) also observed that early sowing dates had a small effect on weed density. Nevertheless, the combination of *Festuca* spp. intercrop and adapted herbicide use resulted in weed densities similar to the common system of “no intercropping”.

4.6 Conclusions

When use of the soil-active herbicide *S-Metolachlor* is prohibited, the integration of a competitive intercrop in continuous maize cropping systems could compensate this ingredient for a certain period. However, the tendency for *E. crus-galli* to increase means that this finding cannot be extended beyond the period investigated. It is expected, that after a longer period crop rotation will be crucial in order to avoid growing infestations of weed species adapted to maize and that continuous maize cropping systems will be unable to confine all weed species sufficiently in the longer term.

The findings of this experimental series apply to all systems with continuous maize cropping in central Europe. They are not only relevant to dairy farming, but also to the increase maize cropping areas for non-feed uses, thus, wherever farms specialise greatly in cropping maize.

4.7 Acknowledgements

We are grateful to the farmers Johannes Erchinger, Jasper Goeman, Jan-Enno Hesse, Johann Kratzenberg, Karsten Kruse, Jochen Neemann, Horst Oorlog, Dieter Siemens and Dennis Steinhorst for generously allowing us to use their fields. Many thanks as well to Inka Buss, Gerold Wilken and Thorsten Wilters for their assistance in the field and laboratory. Friederike de Mol helped with data analysis and Heike Pannwitt commented on the manuscript – thanks!

The experiment was funded by the regional water suppliers Stadtwerke Emden, Stadtwerke Leer, WMU Hesel-Hasselt, WVV Overledingen and WVV Rheiderland.

4.8 References

- Alonso-Ayuso M, Gabriel J L, Pancorbo J L, Quemada M (2020): Interseeding cover crops into maize: Characterization of species performance under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 1:1–16
- Aufhammer W, Kübler E (1997): Einfluss von Reihenweite und Untersaat auf den Silomaisertrag und den Nmin-Gehalt im Boden nach der Ernte. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 3:151–158
- Bajwa A A, Jabran K, Shahid M, Ali H H, Chauhan B S, Ehsanullah (2015): Eco-biology and management of *Echinochloa crus-galli*. *Crop Protection* 75:151–162
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015): Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* 1:1–50
- Bates R T, Gallagher R S, Curran W S, Harper J K (2012): Integrating Mechanical and Reduced Chemical Weed Control in Conservation Tillage Corn. *Agronomy Journal* 2:507–517
- Bean E W (1970): Short-day and Low-temperature Control of Floral Induction in *Festuca*. *Annals of Botany* 1:57–66
- Brust J, Gerhards R, Karanisa T, Ruff L, Kipp A (2011): Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. *Gesunde Pflanzen* 4:191–198
- Buchanan A L, Kolb L N, Hooks C RR (2016): Can winter cover crops influence weed density and diversity in a reduced tillage vegetable system? *Crop Protection* 90:9–16
- BVL, (Federal Office of Consumer Protection and Food Safety), (2021): Anwendungsbeschränkungen für bestimmte Pflanzenschutzmittel zum Schutz von Grundwasservorkommen, die zur Trinkwassergewinnung herangezogen werden. <https://www.bvl.bund.de>
- Campiglia E, Radicetti E, Mancinelli R (2015): Cover crops and mulches influence weed management and weed flora composition in strip-tilled tomato (*Solanum lycopersicum*). *Weed Research* 4:416–425
- Carroll J C (1943): Effects of drought, temperature and nitrogen on turf grasses. *Plant Physiology* 1:19–36

- Claerhout S, Reheul D, Cauwer B d (2015): Sensitivity of *Echinochloa crus-galli* populations to maize herbicides: a comparison between cropping systems. *Weed Research* 5:470–481
- Cutti L, Lamego F P, Aguiar, Adalin Cezar Moraes de, Kaspary T E, Rigon C A G (2016): Winter cover crops on weed infestation and maize yield. *Revista Caatinga* 4:885–891
- Damalas C A, Lithourgidis A S, Eleftherohorinos I G (2012): *Echinochloa* species control in maize (*Zea mays* L.) with sulfonylurea herbicides applied alone and in mixtures with broadleaf herbicides. *Crop Protection* 34:70–75
- destatis, (Bundesamt für Statistik), (2021): Wachstum und Ernte – Feldfrüchte.
https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/_inhalt.html
- Derksen D A, Thomas A G, Lafond G P, Loeppky H A, Swanton C J (1995): Impact of post-emergence herbicides on weed community diversity within conservation-tillage systems. *Weed Research* 4:311–320
- DMK, (Deutsches Maiskomitee e.V.), (2020): Maize – A key crop for the implementation of the arable farming strategy 2035. <https://www.maiskomitee.de/res/pdf/Maize-a-key-crop.pdf>
- DWD, (Germany's National Meteorological Service), (2020): Klimareport Niedersachsen - Fakten bis zur Gegenwart, Erwartungen für die Zukunft.
https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareport_ns/klimareport_ns.html
- Fischer J, Böhm H (2016): Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais- Bohnen-Gemengen. *Julius-Kühn-Archiv* 452:439-445
- Galon L, David F A de, Forte C T, Júnior F WR, Radunz A L, Kujawinski R, Radunz L L, Castoldi C T, Perin G F, Mossi A J (2018): Chemical management of weeds in corn hybrids. *Weed Biology and Management* 1:26–40
- Henderson C F, Tilton E W (1955): Tests with acaricides against the brow wheat mite. *Journal of Economic Entomology* 2:157–161
- Heyland K-U, Merkelbach H (1985): Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. *Die Bodenkultur* 4:347–359

- Kruidhof H M, Bastiaans L, Kropff M J (2008): Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research* 6:492–502
- Kuhlmann J, Köhler L, Warnecke-Busch G, Wolber D M, Jöring T (2020): Strategien zur Unkrautregulierung in Mais in wassersensiblen Gebieten. *Julius-Kühn-Archiv* 464:471–476
- LBEG, (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie), (2019): NIBIS Kartenserver. <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>
- LSKN, (Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen), (2011): Landwirtschaftliche Unternehmen oder bäuerliche Betriebe? Agrarstruktur in Niedersachsen (9)
- LWK, (Chamber of Agriculture Lower Saxony), (2020): GISP Düngeplanungsprogramm. <https://www.lwk-niedersachsen.de; webcode: 01033013>
- Lenth R V, Buerkner P, Herve M, Love J, Riebl H, Singmann H (2021): Package ‘emmeans’. <https://cran.r-project.org/web/packages/emmeans/emmeans.pdf>
- Liedgens M, Frossard E, Richner W (2004): Interactions of maize and Italian ryegrass in a living mulch system: (2) Nitrogen and water dynamics. *Plant and Soil*:243–258
- Mathiassen S K, Ravn H W, Kudsk P (2007): Is dose-splitting of graminicides as effective as a single application? *Weed Research* 3:252–261
- Matthews K (1985): *Vermessungskunde*. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden
- Mehrtens J, Schulte M, Hurle K (2005): Unkrautflora in Mais. *Gesunde Pflanzen* 8:206–218
- Melander B, Rasmussen I A, Bàrberi P (2005): Integrating physical and cultural methods of weed control— examples from European research. *Weed Science* 3:369–381
- Mol F de, Redwitz C von, Schulte M, Gerowitt B (2012): Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002–2004. *Julius-Kühn-Archiv* 434:655–662
- Mulder T A, Doll J D (1993): Integrating Reduced Herbicide Use with Mechanical Weeding in Corn (*Zea mays*). *Weed Technology* 2:382–389

- Nelson W, Kahn B, Roberts W (1991): Screening Cover Crops for Use in Conservation Tillage Systems for Vegetables Following Spring Plowing. *Hortiscience* 7:860–862
- NLWKN, (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), (2015): Themenbericht Pflanzenschutzmittel Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser, (Band 23). <https://www.nlwkn.niedersachsen.de>
- NLWKN, (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), (2020): Themenbericht Pflanzenschutzmittel II Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser, (Band 39). <https://www.nlwkn.niedersachsen.de>
- Olasantan F O, Lucas E O, Ezumah H C (1994): Effects of intercropping and fertilizer application on weed control and performance of cassava and maize. *Field Crops Research* 2-3:63–69
- Pallutt B (2010): 30 Jahre Dauerfeldversuche zum Pflanzenschutz. *Journal für Kulturpflanzen* 7:230–237
- Pannacci E, Covarelli G (2009): Efficacy of *Mesotrione* used at reduced doses for post-emergence weed control in maize (*Zea mays* L.). *Crop Protection* 1:57–61
- Pannwitt H, Westerman P R, Mol F de, Gerowitt B (2018): Using panicle dry weight to estimate seed production in *Echinochloa crus-galli*. *Weed Research* 59:437–445
- Pleasant J M, Burt R F, Frisch J C (1994): Integrating Mechanical and Chemical Weed Management in Corn (*Zea mays*). *Weed Technology* 2:217–223
- Pohlert T (2021): Package ‘PMCMRplus’. <https://cran.r-project.org/web/packages/PMCMRplus/PMCMRplus.pdf>
- R Core Team (2013): A language and environment for statistical computing. <https://www.r-project.org/>
- Roßberg D (2013): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen* 4:141–151
- Roßberg D (2016): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. *Journal für Kulturpflanzen* 2:25–37
- Schweizer E E, Westra P, Lybecker D W (1994): Controlling Weeds in Corn (*Zea mays*) Rows with an In-Row Cultivator Versus Decisions Made by a Computer Model. *Weed Science* 4:593–600

- Shah S N, Shroff J. C., Patel R H, Usadadiya V P (2011): Influence of intercropping and weed management practices on weed and yields of maize. *International Journal of Science & Nature* 1:47-50
- Skrzypczak G, Sobiech Ł, Waniorek W (2011): Evaluation of the Efficacy of *Mesotrione* plus *Nicosulfuron* with Additives as Tank Mixtures Used for Weed Control in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Protection Research* 3:267
- Steinmann H-H, Dobers E S (2013): Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *Journal of Plant Diseases and Protection* 2:85–94
- Stoltz E, Nadeau E (2014): Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 169:21–29
- Streit B, Rieger S, Stamp P, Richner W (2002): The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 92:211–224
- Uchino H, Iwama K, Jitsuyama Y, Ichiyama K, Sugiura E, Yudate T, Nakamura S, Gopal J (2012): Effect of interseeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system. *Field Crops Research* 127:9–16
- Vangessel M J, Schweizer E, Lybecker D, Westra P (1995): Compatibility and Efficiency of In-Row Cultivation for Weed Management in Corn (*Zea mays*). *Weed Technology* 4:754–760
- Venables W N, Ripley B D (2007): *Modern applied statistics with S. Statistics and computing*. Springer, New York, NY
- Wienberg J, Gerowitt B (2020): Unkrautvegetation nach der Maisernte in Silomaissystemen mit Untersaaten Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und - bekämpfung. *Julius-Kühn-Archiv* 464:464–470
- Wienberg J, Pannwitt H, Bünte R, Gerowitt B (2018): Auswirkung von Grasuntersaaten auf die Unkrautvegetation im Silomais - Eine Einführung in die Untersuchungen. *Julius-Kühn-Archiv* 458:231–236

Wienberg J, Bünte R, Gerowitt B (2020): Trockener Sommer, nasser Sommer – können
Untersaaten Unkräuter im Maisanbau begrenzen? *Gesunde Pflanzen* 3:245–256

Zhang J, Zheng L, Jäck O, Yan D, Zhang Z, Gerhards R, Ni H (2013): Efficacy of four post-
emergence herbicides applied at reduced doses on weeds in summer maize (*Zea mays* L.)
fields in North China Plain. *Crop Protection* 3:26–32

Kapitel 5

Zusammenfassung und Diskussion

Diskussion

Im Folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Ergebnisse aus den Kapiteln zwei bis vier zusammengefasst und unter Berücksichtigung der Versuchsziele diskutiert. Abschließend wird ein Ausblick für eine mögliche Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in einen das Grundwasser schonenden Maisanbau gegeben.

5.1 Eignung der Versuchsstandorte

Im Landkreis Leer wurden in den letzten Jahren vermehrt Metabolite des Wirkstoffes *S-Metolachlor* im Grundwasser nachgewiesen (NLWKN, 2015). Ein intensiver, wiederholter Maisanbau auf gleicher Fläche ist in dieser Region üblich (Steinmann und Dobers, 2013). Bundesweite Monitorings haben gezeigt, dass dies im Laufe der Jahre zu einer Selektion einzelner Unkrautarten führt (Mehrtens et al., 2005; Pannwitt et al., 2018).

Eine solche Selektion maistypischer Unkrautarten hatte an den neun Standorten bereits vor dem Beginn der Versuchsperiode stattgefunden (Kap. 2). Auf allen Flächen waren die für einen langjährigen Maisanbau charakteristischen Unkrautarten *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Poa annua* und *Stellaria media* vorhanden (Mol et al., 2012). Mit *Solanum nigrum* trat eine weitere typische Unkrautart an acht von neun Standorten auf. Zum Zeitpunkt der Herbizidanwendung repräsentierten diese Unkrautarten zwischen 82 % und 90 % der gesamten Unkrautvegetation (Kap. 3). Die ausgewählten Standorte waren somit für die Beantwortung der Versuchsfragen geeignet.

5.2 Durchgeführte Herbizidmaßnahmen

Die Unkrautbekämpfung hat im Maisanbau eine große Bedeutung für die Sicherung des Ertrages (Bates et al., 2012). Sie erfolgt im konventionellen Maisanbau zumeist durch den Einsatz von Herbiziden als chemischer Pflanzenschutz (Kuhlmann et al., 2020). Zunehmenden Problemen in der Bekämpfung einzelner Unkrautarten wurde bislang mit einer Intensivierung des Herbizideinsatzes begegnet. In der Folge erhöhte sich in den letzten Jahren der Behandlungsindex bei der Unkrautbekämpfung im Mais (Roßberg, 2016). Dies ist vermutlich ein wichtiger Grund für den Eintrag der Metabolite des Wirkstoffes *S-Metolachlor* ins Grundwasser (NLWKN, 2020; White et al., 2009).

In den getesteten Anbausystemen wurde auf den Einsatz von Herbiziden nicht völlig verzichtet, sondern es wurde lediglich der Einsatz auswaschungsgefährdeter Bodenherbizide vermieden. Welche Konsequenzen ein vollständiger Verzicht auf einen Herbizideinsatz im Maisanbau hat, zeigte sich bei der Bekämpfung der monokotyle Unkrautarten. Das Fehlen eines Gräserherbizides im Anbausystem *Festuca* spp. Untersaat führte zu einer Bekämpfungslücke gegen *P. annua* (Kap. 4). Diese Unkrautart wurde im Anbausystem *Festuca* spp. Untersaat nicht unterdrückt. Die frühzeitige Aussaat der *Festuca* spp. Untersaat konnte den Verzicht auf das Gräserherbizid nicht kompensieren.

Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei anderen Versuchen zum integrierten Maisanbau erzielt. Auch in Anbausystemen mit einer Zwischenfrucht bzw. mit einer mechanischen Unkrautbekämpfung führte ein völliger Verzicht auf Herbizide zu einer nicht ausreichenden Kontrolle einzelner Unkrautarten. Die Folge war ein Anstieg des Unkrautdeckungsgrades und das Auftreten von Ertragsverlusten (Büchi et al., 2020; Fischer und Böhm, 2016; Pannacci und Tei, 2014).

Dass eine Reduktion des Herbizideinsatzes ohne einen Anstieg der Dichte einzelner Unkrautarten möglich ist, zeigte sich in der chemischen Bekämpfung der dikotyledonen Unkrautarten. In beiden Anbausystemen mit Untersaaten wurden trotz der Anpassung der Herbizidmaßnahme an die Untersaaten vergleichbare Wirkungsgrade gegen die auftretenden dikotyledone Unkrautarten erzielt, wie im bisher üblichen Anbausystem ohne Untersaat mit Bodenherbiziden (Kap. 4).

Eine Reduktion des Herbizideinsatzes wurde in Maisanbau bereits für andere integrierte Maßnahmen erfolgreich durchgeführt. Versuche zur mechanischen Unkrautbekämpfung mit reduziertem Herbizideinsatz zeigen, dass dies ohne Wirkungsverluste in der Unkrautbekämpfung möglich ist (Colbach und Cordeau, 2018; Mulder und Doll, 1993; Vasileiadis et al., 2015). Eine Kombination von Untersaat und mechanischer Unkrautbekämpfung könnte die Unkrautunterdrückung weiter absichern.

5.3 Unkraut- und Untersaatendeckungsgrade

Die Unkrautdeckungsgrade der drei getesteten Anbausysteme unterschieden sich nur im Zeitraum nach der Maisernte in den Wintermonaten. Die Wirksamkeit der während des Maisanbaues ausgebrachten Herbizide endete mit der Maisernte. Solch eine Wirkungsdauer wurde bereits früher für Herbizide beobachtet (Galon et al., 2018).

Im Anschluss an die Maisernte wurde bei den Flächen im Anbausystem ohne Untersaat eine Brache durchgeführt. Die starke Zunahme des Unkrautdeckungsgrades im Anbausystem ohne Untersaat machte deutlich, dass auch in den Wintermonaten eine Maßnahme zur Unkrautunterdrückung erforderlich ist (Kap. 4). Ergebnisse aus dem Zwischenfruchtanbau unterstützen diese Beobachtung. Sie zeigen die große Bedeutung einer Begrünung der Ackerflächen in den Wintermonaten für die Reduktion des Unkrautdeckungsgrades in der Folgekultur (Büchi et al., 2020; Campiglia et al., 2015; Dorn et al., 2015).

Für eine erfolgreiche Unkrautunterdrückung der auftretenden Unkrautarten durch eine Untersaat ist eine rasche Flächendeckung von großer Bedeutung (Brust et al., 2011). Diese Anforderung erfüllte nur die *Lolium* spp. Untersaat. Zum Zeitpunkt der Maisernte waren die Deckungsgrade der *Lolium* spp. Untersaat und *Festuca* spp. Untersaat noch vergleichbar (Kap. 4). In den Wintermonaten nahm der Deckungsgrad der *Lolium* spp. Untersaat deutlich zu, während die Bodenbedeckung durch die *Festuca* spp. Untersaat nahezu unverändert blieb. Dies wirkte sich auf die Konkurrenz zur Unkrautvegetation aus. Der Deckungsgrad der *Lolium* spp. Untersaat war negativ mit dem Deckungsgrad der Unkrautvegetation korreliert, ein Einfluss der *Festuca* spp. Untersaat auf den Deckungsgrad der Unkrautvegetation konnte hingegen nicht festgestellt werden (Kap. 4).

Sowohl *Lolium* spp. als auch *Festuca* spp. brauchen für eine gute Ertragsbildung eine ausreichende Feuchtigkeit und ein mildes Seeklima (Umweltbundesamt, 2002). Beide Gattungen gelten als empfindlich gegenüber Kahlfrösten. Während für *Lolium* spp. ein hoher Nährstoffbedarf genannt wird, gilt *Festuca rubra* als nährstoffempfindliche Art, die durch hohe Gehalte in ihrem Wachstum gehemmt wird (Schulte auf'm Erley, 2001). *Festuca* spp. bildet auf nährstoffreichen Böden nur kurze Ausläufer, so dass eine Horstbildung entsteht. Dies könnte die geringe Flächenbedeckung und Konkurrenzkraft der *Festuca* spp. Untersaat erklären.

5.4 Einfluss der Untersaaten auf einzelne Unkrautarten

Die Untersaaten beeinflussten die Dichte der in den Wintermonaten auftretenden Unkrautarten unterschiedlich stark (Kap. 2). Die Konkurrenz der *Lolium* spp. Untersaat unterdrückte *S. media* und *P. annua* und hatte im Frühjahr bei beiden Unkrautarten die geringsten Dichten. Die Ergebnisse bestätigen die Beobachtung von Kruidhof et al. (2008), die ebenfalls eine gute Unterdrückung von *P. annua* und *S. media* durch *Lolium* spp. Untersaaten feststellten.

Die Reduzierung der Dichte in den Wintermonaten wirkte sich auch auf die jährliche Gesamtdichte von *P. annua* aus. Diese war im Anbausystem *Lolium* spp. Untersaat im Vergleich der drei getesteten Anbausysteme in jedem Jahr am niedrigsten (Kap. 4).

Im Anbausystem *Festuca* spp. Untersaat stiegen die Dichten von *P. annua* und *S. media* in den Wintermonaten an und waren im folgenden Frühjahr vergleichbar zum Anbausystem ohne Untersaat. Ein Einfluss der *Festuca* spp. Untersaat auf den Unkrautdeckungsgrad war nicht nachweisbar (Kap.4). Die geringe unkrautunterdrückende Wirkung von *Festuca* spp. war auch schon bei einer Verwendung als Zwischenfrucht aufgetreten (Nelson et al., 1991).

5.5 Einfluss der Witterung im Versuchszeitraum

In den drei Jahren dieser Arbeit traten starke Witterungsunterschiede auf. Diese beeinflussten die getesteten Anbausysteme und die auftretenden Unkrautarten unterschiedlich stark. Die Deckungsgrade der spät ausgesäten *Lolium* spp. Untersaaten wurden weder durch die hohen Niederschläge im Jahr 2017, noch durch die Sommertrockenheit des Jahres 2018 beeinflusst (Kap. 3). Das Anbausystem erwies sich als sehr robust. Die für *Lolium* spp. beschriebene Sensitivität auf Trockenheit war bei der Verwendung als Untersaat kein Nachteil (Haggar, 1979).

Dagegen wirkte sich die in der Literatur für *Festuca* spp. beschriebene Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit nicht positiv auf die Unkrautunterdrückung aus (Bean, 1970; Wehner und Watschke, 1981). Der Deckungsgrad der *Festuca* spp. Untersaat wurde durch die Trockenheit im Jahr 2018 stark reduziert (Kap. 3).

Die Witterung beeinflusste auch die auftretenden Unkrautarten. Die Dichte der meisten Unkrautarten nahm im trockenen Jahr 2018 ab (Kap. 3). Eine wichtige Ausnahme war *E. crus-galli*. Diese Unkrautart profitierte von der trockenen Witterung. Die Dichte stieg trotz der Trockenheit im Jahr 2018 an.

Dies könnte bei weiter fortschreitendem Klimawandel zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Unkrautvegetation im wiederholten Maisanbau führen und neue Herausforderungen in der Unkrautbekämpfung mit sich bringen (Bürger et al., 2014; Peters und Gerowitt, 2012). So konnte im nordamerikanischen Raum eine nordwärts gerichtete Ausbreitung thermophiler Unkrautarten wie *Echinochloa* spp., *Setaria* spp. oder *Panicum* spp.

beobachtet werden (Clements und Ditommaso, 2011). Im Anbausystem mit *Lolium* spp. Untersaat würde dies die Abhängigkeit von der Herbizidmaßnahme vergrößern.

5.6 Einfluss des mehrjährigen Anbaues auf die Unkrautvegetation

In allen getesteten Anbausystemen traten innerhalb der drei Versuchsjahre Lücken in der Unterdrückung einzelner Unkrautarten auf. Das Anbausystem ohne Untersaat offenbarte vor allem in der Unterdrückung von *P. annua* Schwächen. Die Dichte dieser Unkrautart war in jedem Jahr trotz einer guten Wirkung der zum Zeitpunkt des Maisanbaues eingesetzten Herbizide signifikant höher als im Anbausystem *Lolium* spp. Untersaat (Kap. 4). Die Ursache hierfür ist die fehlende Unterdrückung von *P. annua* in den Wintermonaten. Wie bereits in Kapitel 1.3 erwähnt ist eine Herbizidwirkung nach der Maisernte vermutlich nicht mehr vorhanden. Dies hat Auswirkungen auf die Unkrautvegetation im Winter. Unbearbeitete Flächen ohne eine Maßnahme zur Unkrautunterdrückung werden stark von ganzjährig keimenden Unkrautarten wie z. B. *P. annua* besiedelt (Streit et al., 2002).

Das Anbausystem mit *Festuca* spp. Untersaat wies in der Unkrautbekämpfung Schwächen bei der Unterdrückung mehrerer Unkrautarten auf. Besonders schwerwiegend ist die Wirkungslücke gegenüber *E. crus-galli*. Die Dichte dieser Art stieg im Anbausystem mit *Festuca* spp. Untersaat innerhalb der drei Versuchsjahre signifikant an (Kap. 4). Zudem bestätigte sich die bereits im Zwischenfruchtanbau für *Festuca* spp. beschriebene geringe Konkurrenzkraft auch bei einem Anbau als Untersaat (Nelson et al., 1991). *P. annua* wurde in den Wintermonaten von der *Festuca* spp. Untersaat nicht ausreichend unterdrückt.

Innerhalb des Versuchszeitraumes lieferte das Anbausystem mit *Lolium* spp. als Untersaat die vielversprechendsten Ergebnisse. Alle auftretenden Unkrautarten wurden genauso effektiv unterdrückt wie im Anbausystem ohne Untersaat und mit Einsatz von Bodenherbiziden. Die bereits aus dem ökologischen Anbau beschriebene gute unkrautunterdrückende Wirkung einer *Lolium* spp. Untersaat bestätigte sich auch für den konventionellen Anbau bei einer Kombination mit einem reduzierten Herbizideinsatz (Fischer und Böhm, 2016; Kruidhof et al., 2008). Einzelne Unkrautarten wie *P. annua* wurden in diesem Anbausystem wirksamer unterdrückt, als im bisher üblichen Anbausystem ohne Untersaat und mit Bodenherbiziden (Kap. 4).

Lediglich die Bekämpfung von *E. crus-galli* stellt eine Unsicherheit im Anbausystem mit *Lolium* spp. als Untersaat dar. Für *E. crus-galli* konnte ein geringfügiger Anstieg im Vergleich zum Anbausystem ohne Untersaat beobachtet werden, der jedoch nicht signifikant war. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es in einem längeren Zeitraum im Anbausystem mit *Lolium* spp. Untersaat zu einer signifikanten Zunahme der Dichte von *E. crus-galli* kommen wird. In diesem Zusammenhang wurde bereits früher eine im Laufe der Jahre abnehmende Wirksamkeit blattaktiver Herbizide gegen *E. crus-galli* beobachtet (Claerhout et al., 2015). Hier ist möglicherweise eine Optimierung des Herbizideinsatzes erforderlich. So konnten Mathiassen et al. (2007) durch das Splitten der Herbizidbehandlung eine bessere Kontrolle verzögert keimender *E. crus-galli* Samen erreichen.

5.7 Einfluss der Anbausysteme auf die Erträge und Trockensubstanzgehalte

Ein wichtiger Aspekt für eine Akzeptanz von Untersaaten im Maisanbau ist die Ertragsrelevanz einer solchen Maßnahme. Neben der Auswirkung der Untersaaten auf die Unkrautvegetation ist der Einfluss dieser Maßnahme auf den Ertrag von großer Bedeutung. Weder bei den früh ausgesäten *Festuca* spp. Untersaaten (mit der Maisaussaat), noch bei den spät ausgesäten *Lolium* spp. Untersaaten (im 5- bis 6-Blattstadium des Maises) wurde eine Beeinflussung der Trockenmasseerträge in einem der drei Versuchsjahre festgestellt (Kap. 4).

Die in früheren Ergebnissen beschriebenen Ertragsverluste bei einer frühzeitigen Aussaat der Untersaat traten in den drei Jahren der Versuchsperiode nicht auf (Aufhammer und Kübler, 1997). Die Trockenmasseerträge der Anbausysteme wurden durch die stark schwankenden Witterungsbedingungen der einzelnen Versuchsjahre gleichermaßen beeinflusst.

Bei den Trockensubstanzgehalten traten zum Zeitpunkt der Ernte Unterschiede zwischen den Anbausystemen auf. So waren die Trockensubstanzgehalte im Anbausystem *Festuca* spp. Untersaat in jedem Jahr signifikant höher, als im Anbausystem ohne Untersaat. Der Mais war in diesem Anbausystem somit früher erntereif (Kap. 4).

5.8 Bedeutung für den Trinkwasserschutz

Für die Wasserversorgungsunternehmen besteht beim wiederholten Nachweis von Metaboliten des Wirkstoffes *S-Metolachlor* im Grundwasser eines Trinkwassergewinnungsgebietes die Möglichkeit beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit ein Anwendungsverbot über die Auflage NG 301-1 (Naturhaushalt Grundwasser) für den Wirkstoff für fünf Jahre zu beantragen (BVL, 2021).

Viele Wasserversorgungsunternehmen scheuen sich vor diesem Schritt aus Sorge, gegenüber den betroffenen Landwirten ausgleichspflichtig zu werden. Wasserschutzgebiete und die darin vorgesehenen Nutzungsbeschränkungen können zu einer situationsbedingten Belastung des Grundeigentums führen. Bei Beschränkungen der ordnungsgemäßen land- und forstwirtschaftlichen Flächennutzung sind die Wasserversorgungsunternehmen nach § 52 Absatz 5 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) gesetzlich zu Ausgleichsleistungen verpflichtet (BMJV, 2009).

In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass eine Reduktion des Herbizideinsatzes beim Maisanbau im konventionellen Maisanbau möglich ist. Dies ist nicht nur aus Sicht des Wasserschutzes anzustreben. Auch außerhalb von Trinkwassergewinnungsgebieten sollte das Vorsorgeprinzip im Vordergrund stehen und der Eintrag von Metaboliten in den Boden vermieden werden.

In Regionen mit wiederholtem Anbau einzelner Ackerkulturen werden die Abbauprodukte der eingesetzten Bodenherbizide im Grundwasser nachgewiesen (NLWKN, 2015). Neben dem Maisanbau ist dies noch für den Rapsanbau und den Rübenanbau belegt. Ein Wechsel auf Wirkstoffe anderer Bodenherbizide stellt lediglich eine Verlagerung des Problems dar. Nach wenigen Jahren werden die Metabolite der zur Substitution eingesetzten Wirkstoffe ebenfalls in den Messstellen nachgewiesen (NLWKN, 2020). Ein Einsatz von Bodenherbiziden sollte daher im wiederholten Maisanbau und auf austragsgefährdeten Flächen eingeschränkt werden, so lange die Auswirkungen der Metabolite auf Mensch und Naturhaushalt nicht endgültig geklärt sind.

Für die Wasserversorgungsunternehmen könnte eine Ausgleichspflicht durch den Maisanbau mit Untersaat hinfällig werden. Das Anbausystem der *Lolium* spp. Untersaat ermöglicht den wiederholten Maisanbau zu erhalten und gleichzeitig einen Verzicht auf *S-Metolachlor* durchzuführen. In den Trinkwassergewinnungsgebieten des Landes Niedersachsen wird der Maisanbau mit Untersaat über das Kooperationsmodell zum Trinkwasserschutz als so genannte freiwillige Vereinbarung gefördert (LWK, 2021). Der Förderbetrag ist so berechnet, dass der

Mehraufwand und eventuelle Bewirtschaftungsnachteile ausgeglichen werden. Es entstehen für die teilnehmenden Betriebe keine wirtschaftlichen Nachteile. Bei einem Anwendungsverbot über die Auflage NG-301-1 könnten die Wasserversorgungsunternehmen auf dieses Angebot verweisen.

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass über einen Zeitraum von drei Jahren ein wiederholter Maisanbau mit Untersaat und gleichzeitigem Verzicht auf Bodenherbizide durchgeführt werden kann. Das Anbausystem der *Lolium* spp. Untersaat ermöglichte in dem Versuchszeitraum einen Verzicht auf Bodenherbizide. Während des Maisanbaues war die Unkrautunterdrückung der aufgetretenen Arten vergleichbar zum bisher häufig praktizierten Maisanbau ohne Untersaat und mit Bodenherbiziden. Ertragsverluste konnten in keinem Versuchsjahr festgestellt werden. Die im Versuchszeitraum aufgetretenen Witterungsschwankungen bestätigen die Robustheit des Anbausystems der *Lolium* spp. Untersaat.

Ob es bei einem Anwendungsverbot für *S-Metolachlor* über fünf Jahre zu einem signifikanten Anstieg in der Dichte von *E. crus-galli* im Anbausystem *Lolium* spp. Untersaat kommt, kann nicht beantwortet werden. Eine Ausgleichspflicht der Wasserversorgungsunternehmen gegenüber der Landwirtschaft für Nachteile in der Bewirtschaftung der Flächen erscheint unter Berücksichtigung früherer Ergebnisse zum Einfluss von Herbiziden auf die Unkrautflora nicht gegeben. So beobachtete Pallutt (1999), dass die Effekte unterschiedlicher Herbizidmaßnahmen durch andere Bewirtschaftungsfaktoren, wie zum Beispiel die Bodenbearbeitung, weitgehend überdeckt werden. Er fordert Langzeitversuche mindestens sechs bis acht Jahre durchzuführen, da erst dann Effekte gesichert nachweisbar sind.

Die Herbizidmaßnahmen im Anbausystem *Lolium* spp. Untersaat erzielten bei der Unkrautbekämpfung einkeimblättriger und zweikeimblättriger Arten vergleichbare Wirkungsgrade wie die Herbizidmaßnahme mit Bodenherbiziden im Anbausystem ohne Untersaat. In den Wintermonaten wurden zudem alle auftretenden Unkrautarten durch die Untersaat wirksam unterdrückt. Die teilweise für eine *Lolium* spp. Untersaat beschriebene mangelhafte Konkurrenzstärke gegenüber einzelnen Unkrautarten konnte in diesem Versuch nicht beobachtet werden (Fischer und Böhm, 2016; Kruidhof et al., 2008). Einzig die langfristige Unterdrückung von *E. crus-galli* stellte eine Unsicherheit im Anbausystem der *Lolium* spp. Untersaat dar.

In Regionen mit intensiver Landwirtschaft wäre eine Fruchtfolge mit Wechsel zwischen Sommerungen und Winterungen, sowie einem Anbau von Blatt- und Halmfrüchten für eine nachhaltige Unkrautunterdrückung wünschenswert. Dies wird derzeit jedoch kaum umgesetzt, obwohl der positive Einfluss auf die Unkrautflora bekannt ist. Wirtschaftliche Zwänge und regionale Betriebsstrukturen sind typische Hemmnisse für eine dieser Maßnahmen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten eine kurzfristige und einfach umzusetzende Lösung, um den Erhalt eines wiederholten Maisanbaues zu ermöglichen und gleichzeitig auf den Einsatz von Bodenherbiziden zu verzichten. Aufbauend auf die erzielten Ergebnisse sind ergänzende Maßnahmen zur Optimierung der Unkrautbekämpfung im Anbausystem *Lolium* spp. Untersaat denkbar. Neben der bereits erwähnten Optimierung der Herbizidbehandlung könnte eine Ausbringung der Untersaat mit einer Hacke eine weitere integrierte Maßnahme zur Unkrautbekämpfung darstellen. Mehrere Ergebnisse belegen die erfolgreiche Unkrautunterdrückung bei reduziertem Herbizideinsatz in Kombination mit einer mechanischen Unkrautbekämpfung (Bates et al., 2012; Pannacci und Tei, 2014; Pleasant et al., 1994). Dies würde die Unterdrückung sommerannueller Unkrautarten möglicherweise weiter verbessern.

Die genannten Maßnahmen könnten zu einer Verbesserung der Bekämpfung von schwer zu bekämpfenden Unkrautarten wie *E. crus-galli* beitragen und gleichzeitig im wiederholten Maisanbau den Verzicht auf Bodenherbizide für einen längeren Zeitraum erlauben, ohne dass einzelne Unkrautarten selektiert werden.

5.9 Literaturverzeichnis

- Aufhammer W, Kübler E (1997): Einfluss von Reihenweite und Untersaat auf den Silomaisertrag und den Nmin-Gehalt im Boden nach der Ernte. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 3:151–158
- Bates R T, Gallagher R S, Curran W S, Harper J K (2012): Integrating Mechanical and Reduced Chemical Weed Control in Conservation Tillage Corn. *Agronomy Journal* 2:507–517
- Bean E W (1970): Short-day and Low-temperature Control of Floral Induction in *Festuca*. *Annals of Botany* 1:57–66
- Brust J, Gerhards R, Karanisa T, Ruff L, Kipp A (2011): Warum Untersaaten und Zwischenfrüchte wieder Bedeutung zur Unkrautregulierung in Europäischen Ackerbausystemen bekommen. *Gesunde Pflanzen* 4:191–198
- Büchi L, Wendling M, Amossé C, Jeangros B, Charles R (2020): Cover crops to secure weed control strategies in a maize crop with reduced tillage. *Field Crops Research* 107583
- BMJV, (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz), (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG). § 52 Absatz 3 Besondere Anforderungen in Wasserschutzgebieten. http://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/__52.html
- Bürger J, Edler B, Gerowitt B, Steinmann H-H (2014): Prognose künftiger Problemunkräuter im Maisanbau durch Artverbreitungsmodellierung. *Julius-Kühn-Archiv* 443:379-386
- BVL, (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), (2021): Anwendungsbestimmung NG301-1 und betroffene Pflanzenschutzmittel. <https://www.bvl.bund.de>
- Campiglia E, Radicetti E, Mancinelli R (2015): Cover crops and mulches influence weed management and weed flora composition in strip-tilled tomato (*Solanum lycopersicum*). *Weed Research* 4:416–425
- Claerhout S, Reheul D, Cauwer B d (2015): Sensitivity of *Echinochloa crus-galli* populations to maize herbicides: a comparison between cropping systems. *Weed Research* 5:470–481

- Clements D R, Ditommaso A (2011): Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? *Weed Research* 3:227–240
- Colbach N, Cordeau S (2018): Reduced herbicide use does not increase crop yield loss if it is compensated by alternative preventive and curative measures. *European Journal of Agronomy* :67–78
- Dorn B, Jossi W, van der Heijden M (2015): Weed suppression by cover crops: comparative on-farm experiments under integrated and organic conservation tillage. *Weed Research* 6:586–597
- Fischer J, Böhm H (2016): Reduktion des Unkrautdruckes durch die Etablierung von Untersaaten in Mais- Bohnen-Gemengen. *Julius-Kühn-Archiv* 452:439-445
- Galon L, David F A de, Forte C T, Júnior F WR, Radunz A L, Kujawinski R, Radunz L L, Castoldi C T, Perin G F, Mossi A J (2018): Chemical management of weeds in corn hybrids. *Weed Biology and Management* 1:26–40
- Haggar R J (1979): Competition between *Lolium perenne* and *Poa trivialis* during establishment. *Grass and Forage Science* 1:27–36
- Kruidhof H M, Bastiaans L, Kropff M J (2008): Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research* 6:492–502
- Kuhlmann J, Köhler L, Warnecke-Busch G, Wolber D M, Jöring T (2020): Strategien zur Unkrautregulierung in Mais in wassersensiblen Gebieten. *Julius-Kühn-Archiv* 464:471–476
- LWK, (Landwirtschaftskammer Niedersachsen), (2021): Ausgleichsleistungen in Wasserschutzgebieten (Blaubuch). <https://www.lwk-niedersachsen.de>; webcode: 01014776
- Mathiassen S K, Ravn H W, Kudsk P (2007): Is dose-splitting of graminicides as effective as a single application? *Weed Research* 3:252–261
- Mehrtens J, Schulte M, Hurle K (2005): Unkrautflora in Mais. *Gesunde Pflanzen* 8:206–218

- Mol F de, Redwitz C von, Schulte M, Gerowitt B (2012): Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management – Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002–2004. Julius-Kühn-Archiv 434:655–662
- Mulder T A, Doll J D (1993): Integrating Reduced Herbicide Use with Mechanical Weeding in Corn (*Zea mays*). Weed Technology 2:382–389
- Nelson W, Kahn B, Roberts W (1991): Screening Cover Crops for Use in Conservation Tillage Systems for Vegetables Following Spring Plowing. Hortiscience 7:860–862
- NLWKN, (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), (2015): Themenbericht Pflanzenschutzmittel Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser, (Band 23). <https://www.nlwkn.niedersachsen.de>
- NLWKN, (Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), (2020): Themenbericht Pflanzenschutzmittel II Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser, (Band 39). <https://www.nlwkn.niedersachsen.de>
- Pallutt B (1999): Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern in Wintergetreide. Gesunde Pflanzen 4:109–120
- Pannacci E, Tei F (2014): Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. Crop Protection:51–59
- Pannwitt H, Krato C, Gerowitt B (2018): Unkraut-Monitoring 2.0 - Erste Ergebnisse zur aktuellen Unkrautvegetation im Mais. Julius-Kühn-Archiv 458:24–29
- Peters K, Gerowitt B (2012): Wie könnte der Klimawandel das Zusammenspiel von Unkräutern und Feldfrüchten verändern? Julius-Kühn-Archiv 434:35–42
- Pleasant J M, Burt R F, Frisch J C (1994): Integrating Mechanical and Chemical Weed Management in Corn (*Zea mays*). Weed Technology 2:217–223
- Roßberg D (2016): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. Journal für Kulturpflanzen 2:25–37
- Schulte auf'm Erley G (2001): Die Stickstoff- und Kohlenstoffallokation von Gräsern mit unterschiedlicher Wachstumsdynamik (*Lolium perenne* L. und *Festuca rubra* L.) Dissertation, Universität Bonn

- Steinmann H-H, Dobers E S (2013): Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *Journal of Plant Diseases and Protection* 2:85–94
- Streit B, Rieger S, Stamp P, Richner W (2002): The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 92:211–224
- Umweltbundesamt (2002): Biologische Basisdaten zu *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca pratensis* und *Trifolium repens* (8).
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/short/k2103.pdf>
- Vasileiadis V P, Otto S, van Dijk W, Urek G, Leskovšek R, Verschwele A, Furlan L, Sattin M (2015): On-farm evaluation of integrated weed management tools for maize production in three different agro-environments in Europe: Agronomic efficacy, herbicide use reduction, and economic sustainability. *European Journal of Agronomy*: 71–78
- Wehner D J, Watschke T L (1981): Heat Tolerance of Kentucky Bluegrasses, Perennial Ryegrasses, and Annual Bluegrass. *Agronomy Journal* 1:79–84
- White P M, Potter T L, Bosch D D, Joo H, Schaffer B, Muñoz-Carpena R (2009): Reduction in *Metolachlor* and degradate concentrations in shallow groundwater through cover crop use. *Journal of agricultural and food chemistry* 20:9658–9667

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Jens Wienberg,
geboren am:	5. November 1970
Geburtsort:	Weener
Wohnort:	Leer, Ostfriesland
Familienstand:	verheiratet, ein Kind

Bildungsweg

Seit Juni 2017	externer Doktorand Universität Rostock
September 1993 bis Oktober 1997	Diplom-Ingenieur Gartenbau (FH) Fachhochschule Osnabrück
Juli 1990	Abitur Ubbo-Emmius-Gymnasium Leer

Berufserfahrung

seit Juli 2013	Berater in Wasserschutzgebieten Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Januar 2002 bis Juni 2013	Sachbearbeiter Pflanzenschutz Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Januar 1998 bis Dezember 2001	Berater für den Friedhofsgartenbau Nordwestdeutsche Treuhandstelle, Bremen